

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re application of: **Norinao KOUMA, et al.**

Group Art Unit: **Not Yet Assigned**

Serial No.: **Not Yet Assigned**

Examiner: **Not Yet Assigned**

Filed: **March 4, 2004**

For: **METHOD FOR MANUFACTURING MICRO-STRUCTURAL UNIT**

**CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. 119**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Date: March 4, 2004

Sir:

The benefit of the filing dates of the following prior foreign applications is hereby requested for the above-identified application, and the priority provided in 35 U.S.C. 119 is hereby claimed:

**Japanese Appln. No. 2003-292555, filed August 12, 2003**

**Japanese Appln. No. 2003-407838, filed December 5, 2003**

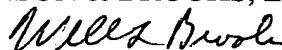
In support of this claim, the requisite certified copies of said original foreign applications are filed herewith.

It is requested that the file of this application be marked to indicate that the applicants have complied with the requirements of 35 U.S.C. 119 and that the Patent and Trademark Office kindly acknowledge receipt of said certified copies.

In the event that any fees are due in connection with this paper, please charge our Deposit Account No. 01-2340.

Respectfully submitted,

ARMSTRONG, KRATZ, QUINTOS,  
HANSON & BROOKS, LLP

  
William L. Brooks

Attorney for Applicants

Reg. No. 34,129

WLB/jaz  
Atty. Docket No. **040099**  
Suite 1000  
1725 K Street, N.W.  
Washington, D.C. 20006  
(202) 659-2930



**23850**

PATENT TRADEMARK OFFICE

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日            2003年 8月12日  
Date of Application:

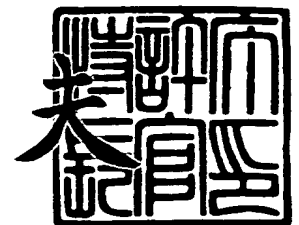
出願番号            特願2003-292555  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [JP2003-292555]

出願人            富士通株式会社  
Applicant(s):        富士通メディアデバイス株式会社

2004年 1月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井 康



出証番号    出証特2003-3108863

【書類名】 特許願  
【整理番号】 0395290  
【提出日】 平成15年 8月12日  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/00  
G02B 26/08

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 高馬 悟覚

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 壺井 修

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 奥田 久雄

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 曾根田 弘光

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 ミイ シヤオユウ

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 上田 知史

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社  
内  
【氏名】 佐脇 一平

【発明者】  
【住所又は居所】 神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目3番地12 富士通メディア  
デバイス株式会社内  
【氏名】 中村 義孝

【特許出願人】  
【識別番号】 000005223  
【氏名又は名称】 富士通株式会社

【特許出願人】  
【識別番号】 398067270  
【氏名又は名称】 富士通メディアデバイス株式会社

【代理人】  
【識別番号】 100086380  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 吉田 稔

**【選任した代理人】****【識別番号】** 100103078**【弁理士】****【氏名又は名称】** 田中 達也**【連絡先】** 0 6 - 6 7 6 4 - 6 6 6 4**【手数料の表示】****【予納台帳番号】** 024198**【納付金額】** 21,000円**【その他】**

国等の委託研究の成果に係る特許出願（平成 1 5 年度通産省委託事業「光バーストスイッチングを用いたフォトニックネットワーク技術の研究開発」委託研究、産業活力再生特別措置法第 3 0 条の適用を受けるもの）

**【提出物件の目録】****【物件名】** 特許請求の範囲 1**【物件名】** 明細書 1**【物件名】** 図面 1**【物件名】** 要約書 1**【包括委任状番号】** 9807281**【包括委任状番号】** 0103433

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

第1導体層と、第2導体層と、第3導体層と、前記第1導体層および前記第2導体層の間に介在する第1絶縁層と、前記第2導体層および前記第3導体層の間に介在する第2絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対し加工を施すことにより、マイクロ構造体を製造するための方法であって、

前記第1導体層に対し、当該第1導体層上に形成された第1マスクパターンおよび第2マスクパターンを介して、当該第1導体層の厚さ方向の途中までエッチング処理を施すための、第1エッチング工程と、

前記第2マスクパターンを除去するための工程と、

前記第1導体層に対し、前記第1マスクパターンを介して、前記第1絶縁層に接する残存マスク部が残存形成されるように前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第2エッチング工程と、

前記第1絶縁層において前記第2エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第2導体層に至るまで前記残存マスク部を介してエッチング処理を施すための、第3エッチング工程と、

前記残存マスク部をエッチング除去するとともに、前記第2導体層において前記第3エッチング工程にて露出した箇所に対しエッチング処理を施すための、第4エッチング工程と、を含むことを特徴とする、マイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 2】**

前記第4エッチング工程では、前記第2導体層において前記第2エッチング工程にて露出した箇所に対して、前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す、請求項1に記載のマイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 3】**

前記第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンを介して、前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第5エッチング工程を含む、請求項1または2に記載のマイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 4】**

前記第1マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、前記第2エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第1導体層において成形され、前記第3エッチング工程では、前記櫛歯電極部の絶縁部が前記第1絶縁層において成形され、前記第4エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形される、請求項2または3に記載のマイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 5】**

前記第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、前記第2マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、前記第5エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、前記第2エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部が前記第1導体層において成形され、前記第4エッチング工程では、前記櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され且つ前記櫛歯電極部の第2導体部が成形され、前記第1導体部および前記第2導体部の間に介在する第2絶縁層において前記櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第6エッチング工程を更に含む、請求項3に記載のマイクロ構造体の製造方法。

**【請求項 6】**

前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、前記第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、前記第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マスク部を含み、前記第5エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、前記第2エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部の第1導体部が前記第1導体層において成形され、前記第3エッチング工程では、前記第2櫛歯電極部の絶縁部が前記第1絶縁層において成形され、前記第4エッチング工程では、前記第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、且つ、前記第

1 櫛歯電極部の第2導体部および前記第2櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、前記第1櫛歯電極部における前記第1導体部と第2導体部の間に介在する第2絶縁層において当該第1櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第6エッチング工程を更に含む、請求項3に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項7】

第1導体層と、第2導体層と、第3導体層と、前記第1導体層および前記第2導体層の間に介在する第1絶縁層と、前記第2導体層および前記第3導体層の間に介在する第2絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対し加工を施すことにより、マイクロ構造体を製造するための方法であって、

前記第1導体層に対し、当該第1導体層上に形成された第1マスクパターンおよび第2マスクパターンを介して、前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第1エッチング工程と、

前記第1絶縁層において前記第1エッチング工程にて露出した箇所に対し、前記第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための、第2エッチング工程と、

前記第2マスクパターンを除去するための工程と、

前記第1導体層に対し前記第1マスクパターンを介してエッチング処理を施すとともに、前記第2導体層において前記第2エッチング工程にて露出した箇所に対しエッチング処理を施すための、第3エッチング工程と、を含むことを特徴とする、マイクロ構造体の製造方法。

【請求項8】

前記第3エッチング工程において、前記第1導体層に対しては前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すとともに、前記第2導体層において前記第2エッチング工程にて露出した箇所に対しては前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す、請求項7に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項9】

前記第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンを介して、前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第4エッチング工程を含む、請求項7または8に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項10】

前記第1マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、前記第1エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第1導体層において成形され、前記第2エッチング工程では、前記櫛歯電極部の絶縁部が前記第1絶縁層において成形され、前記第3エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形される、請求項8または9に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項11】

前記第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、前記第2マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、前記第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、前記第1エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部が前記第1導体層において成形され、前記第3エッチング工程では、前記櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され且つ前記櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、前記第1導体部および前記第2導体部の間に介在する第2絶縁層において前記櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第5エッチング工程を更に含む、請求項9に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項12】

前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、前記第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、前記第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マスク部を含み、前記第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、前記第1エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部の第1導体部が前記第1導体層において成形され、前記第2エッチング工程では、前記第2櫛歯電極部の絶縁部が前記第1絶縁層において成形され、前記第3エ

チング工程では、前記第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され且つ前記第1櫛歯電極部の第2導体部および前記第2櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、前記第1櫛歯電極部における前記第1導体部と第2導体部の間に介在する第2絶縁層において当該第1櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第5エッチング工程を更に含む、請求項9に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項13】

前記第2絶縁層において前記第4エッチング工程にて露出した箇所に対し前記第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、前記第2導体層において前記第5エッチング工程にて露出した箇所に対し前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための第6エッチング工程と、を含む、請求項9に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項14】

前記第3マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、前記第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、前記第5エッチング工程では、前記櫛歯電極部の絶縁部が前記第2絶縁層において成形され、前記第6エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形される、請求項13に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項15】

前記第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、前記第1マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、前記第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、前記第5エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第1絶縁部が前記第2絶縁層において成形され、前記第6エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、前記第3エッチング工程では、前記櫛歯電極部の第3導体部が前記第1導体層において成形され、当該第3導体部および前記第2導体部の間に介在する第1絶縁層において前記櫛歯電極部の第2絶縁部を成形するための第7エッチング工程を更に含む、請求項13に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項16】

前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、前記第1マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、前記第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部および第2櫛歯電極部の第1導体部が前記第3導体層において成形され、前記第5エッチング工程では、前記第1櫛歯電極部の第1絶縁部および前記第2櫛歯電極部の第1絶縁部が前記第2絶縁層において成形され、前記第6エッチング工程では、前記第1櫛歯電極部の第2導体部および前記第2櫛歯電極部の第2導体部が前記第2導体層において成形され、前記第3エッチング工程では、前記第2櫛歯電極部の第3導体部が前記第1導体層において成形され、前記第2櫛歯電極部における前記第2導体部と第3導体部の間に介在する第1絶縁層において当該第2櫛歯電極部の第2絶縁部を成形するための第7エッチング工程を更に含む、請求項13に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項17】

前記第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンおよび第4マスクパターンを介して、前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第4エッチング工程と、前記第2絶縁層において前記第4エッチング工程にて露出した箇所に対しエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、前記第4マスクパターンを除去するための工程と、前記第3導体層に対し前記第3マスクパターンを介して前記第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すとともに、前記第2導体層において前記第5エッチング工程にて露出した箇所に対し前記第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第6エッチング工程と、含む、請求項7に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項18】

前記第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、前記第2マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、前記第4エッチ

ング工程では、第1歯電極部および第2歯電極用残存マスク部が前記第3導体層において成形され、前記第6エッチング工程では、第1歯電極用残存マスク部および第2歯電極部が前記第2導体層において成形され、前記第1エッチング工程では、第2歯電極用残存マスク部が前記第1導体層において成形され、前記第3エッチング工程では、前記第1歯電極用残存マスク部および前記第2歯電極部残存マスク部はエッチング除去される、請求項17に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項19】

前記第1絶縁層を貫通して前記第1導体層および前記第2導体層を電氣的に接続するための第1導電連絡部を形成するための工程、および／または、前記第2絶縁層を貫通して前記第3導体層および前記第2導体層を電氣的に接続するための第2導電連絡部を形成するための工程を、更に含む、請求項1から18のいずれか1つに記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項20】

前記第1絶縁層を貫通し、前記歯電極部の各々において各導体部を電氣的に接続するための第1導電連絡部を形成するための工程、および／または、前記第2絶縁層を貫通し、前記歯電極部の各々において各導体部を電氣的に接続するための第2導電連絡部を形成するための工程を、更に含む、請求項4から6、10から12、および14から16のいずれか1つに記載のマイクロ構造体の製造方法。



【書類名】明細書

【発明の名称】マイクロ構造体の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、マイクロマシニング技術により作製されるマイクロミラー素子、加速度センサ素子、角速度センサ素子、および振動素子などのマイクロ構造体の、製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、様々な技術分野において、マイクロマシニング技術により形成される微小構造を有する素子の応用化が図られている。例えば光通信技術の分野においては、光反射機能を有する微小なマイクロミラー素子が注目されている。

【0003】

光通信においては、光ファイバを媒体として光信号が伝送され、また、光信号の伝送経路を或るファイバから他のファイバへと切換えるべく、一般に、いわゆる光スイッチング装置が使用される。良好な光通信を達成するうえで光スイッチング装置に求められる特性としては、切換え動作における、大容量性、高速性、高信頼性などが挙げられる。これらの観点より、光スイッチング装置としては、マイクロマシニング技術により作製されるマイクロミラー素子を組み込んだものに対する期待が高まっている。マイクロミラー素子によると、光スイッチング装置における入力側の光伝送路と出力側の光伝送路との間で、光信号を電気信号に変換せずに光信号のままでスイッチング処理を行うことができ、上掲の特性を得るうえで好適だからである。

【0004】

マイクロミラー素子は、光を反射するためのミラー面を備え、当該ミラー面の揺動により光の反射方向を変化させることができる。ミラー面を揺動するうえで静電力を利用する静電駆動型のマイクロミラー素子が、多くの装置で採用されている。静電駆動型マイクロミラー素子は、いわゆる表面マイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子と、いわゆるバルクマイクロマシニング技術により製造されるマイクロミラー素子との、大きく2つに類別することができる。

【0005】

表面マイクロマシニング技術では、基板上において、各構成部位に対応する材料薄膜を所望のパターンに加工し、このようなパターンを順次積層することにより、支持体、ミラー面および電極部など、素子を構成する各部位や、後に除去される犠牲層を形成する。一方、バルクマイクロマシニング技術では、材料基板自体をエッチングすることにより支持体やミラー部などを所望の形状に成形し、必要に応じてミラー面や電極を薄膜形成する。バルクマイクロマシニング技術については、例えば下記の特許文献1～3に記載されている。

【特許文献1】特開平10-190007号公報

【特許文献2】特開平10-270714号公報

【特許文献3】特開平2000-31502号公報

【0006】

マイクロミラー素子に要求される技術的事項の一つとして、光反射を担うミラー面の平面度が高いことが挙げられる。しかしながら、表面マイクロマシニング技術によると、最終的に形成されるミラー面が薄いためにミラー面が湾曲し易く、従って、広面積のミラー面において高い平面度を達成するのが困難である。これに対し、バルクマイクロマシニング技術によると、相対的に分厚い材料基板自体をエッチング技術により削り込んでミラー部を構成して当該ミラー部上にミラー面を設けるため、広面積のミラー面であっても、その剛性を確保することができる。その結果、十分に高い光学的平面度を有するミラー面を形成することが可能である。

【0007】

図32は、バルクマイクロマシニング技術によって作製される従来のマイクロミラー素子X5の一部切欠き斜視図である。マイクロミラー素子X5は、上面にミラー面（図示略）が設けられたミラー部510と、内フレーム520と、外フレーム530（一部省略）とを有し、各々に、櫛歯電極が一体的に設けられている。ミラー部510には、その相対向する端部に一對の櫛歯電極511、512が形成されている。内フレーム520には、櫛歯電極511、512に対応して、内方に延びる一對の櫛歯電極521、522が形成されているとともに、外方に延びる一對の櫛歯電極523、524が形成されている。外フレーム530には、櫛歯電極523、524に対応して、内方に延びる一對の櫛歯電極531、532が形成されている。また、ミラー部510と内フレーム520は、一對のトーションバー540により連結されており、内フレーム520と外フレーム530は、一對のトーションバー550により連結されている。一對のトーションバー540は、内フレーム520に対するミラー部510の回転動作の回転軸心A5を規定し、一對のトーションバー550は、外フレーム530に対する内フレーム520およびこれに伴うミラー部510の回転動作の回転軸心A5'を規定している。

#### 【0008】

このような構成のマイクロミラー素子X5においては、静電力を発生させるために近接して設けられた一組の櫛歯電極、例えば櫛歯電極511および櫛歯電極521は、電圧非印加時には、図33(a)に示すように、上下2段に分かれた配向をとる。一方、所定電圧印加時には、図33(b)に示すように、櫛歯電極511が櫛歯電極521に引き込まれ、これによってミラー部510が揺動する。より具体的には、図32において、例えば、櫛歯電極511を正に帯電させ、櫛歯電極521を負に帯電させると、ミラー部510が、一對のトーションバー540を振りながら回転軸心A5まわりに回転する。一方、櫛歯電極523を正に帯電させ、櫛歯電極531を負に帯電させると、内フレーム520およびこれに伴うミラー部510は、一對のトーションバー550を振りながら回転軸心A5'まわりに回転する。このようなミラー部510の回転駆動により、ミラー部510上に設けられたミラー面（図示せず）により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0009】

図34は、マイクロミラー素子X5の従来の製造方法を表す。図34においては、図32に示すミラー部510の一部、内フレーム520、外フレーム530、トーションバー540、および一組の櫛歯電極511、521の一部の形成過程を、一の断面の変化により表す。当該一の断面は、加工が施される材料基板（ウエハ）における単一のマイクロスイッチング素子形成区画に含まれる複数の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。

#### 【0010】

マイクロミラー素子X5に製造方法においては、まず、図34(a)に示すようなウエハS5を用意する。ウエハS5は、いわゆるSOI（Silicon on Insulator）ウエハであり、シリコン層501と、シリコン層502と、これらの間の絶縁層503とからなる積層構造を有する。次に、図34(b)に示すように、シリコン層501に対して所定のマスクを介して異方性エッチングを行うことにより、ミラー部510、内フレーム520の一部、外フレーム530の一部、トーションバー540、および櫛歯電極511などの、シリコン層501において成形されるべき構造部を形成する。

#### 【0011】

次に、図34(c)に示すように、シリコン層502に対して所定のマスクを介して異方性エッチングを行うことにより、内フレーム520の一部、外フレーム530の一部、および櫛歯電極521などの、シリコン層502において成形されるべき構造部が形成される。次に、図34(d)に示すように、絶縁層503に対して等方性エッチングを行うことにより、絶縁層502において露出する箇所を除去する。このようにして、ミラー部510、内フレーム520、外フレーム530、トーションバー530、および一組の櫛歯電極511、521が形成される。トーションバー550はトーションバー540と同様

にして形成され、他組の櫛歯電極も櫛歯電極 511, 521 と同様にして形成される。

#### 【0012】

マイクロミラー素子 X5 では、ミラー部 510 および内フレーム 520 の回転動作に伴って各櫛歯電極が変位するため、各櫛歯電極は、ミラー部 510 および内フレーム 520 の傾斜角度に見合った十分な厚さを有する必要がある。この厚さは、上述のウエハ S5 の厚さ方向の寸法に相当する。例えば、ミラー部 510 の胴体部 513 の長さ D が 1 mm である場合、ミラー部 510 を内フレーム 520 に対して、回転軸心 A5 まわりに  $5^\circ$  傾斜させると、胴体端部 513' の一方は  $44\ \mu\text{m}$  沈み込む。そのため、ミラー部 510 の櫛歯電極 511, 512 の厚さ T は、少なくとも  $44\ \mu\text{m}$  以上である必要がある。

#### 【0013】

小さな印加電圧により大きな傾斜角度を得るという観点からは、振り抵抗を有するトーションバー 540, 550 については、その振り抵抗を低減すべく薄肉に形成するのが好ましい。しかしながら、上述の従来のマイクロミラー素子 X5 では、トーションバー 540, 550 は、各櫛歯電極と同一の厚さに形成されており、分厚い。例えば、上述のように櫛歯電極 511, 512 の厚さ T を  $44\ \mu\text{m}$  以上に設計すると、トーションバー 540, 550 の厚さも  $44\ \mu\text{m}$  以上となってしまう。マイクロミラー素子 X5 では、トーションバー 540, 550 がこのように分厚いので、これらを振るために櫛歯電極間に発生させるべき静電力は比較的大きく、従って、要求される駆動電圧は比較的大きい。

#### 【0014】

また、ミラー部 510 を軽量化してそのイナーシャを低減するという観点からは、ミラー部 510 については、薄肉に形成するのが好ましい。しかしながら、上述の従来のマイクロミラー素子 X5 では、ミラー部 510 の全体が、例えば櫛歯電極 511, 512, 523, 524 と同一の厚さに形成されており、分厚い。ミラー部 510 の全体がこのように分厚いので、ミラー部 510 の重量、従ってそのイナーシャは比較的大きい。その結果、マイクロミラー素子 X5 では、ミラー部 510 の回転変位について所望される周波数応答特性を達成できない場合が生ずる。また、ミラー部 510 の回転変位における回転角度を増大するためには、櫛歯電極をより厚くして駆動力を増大させる必要があるが、櫛歯電極厚さの増大は、ミラー部 510 の重量化、従ってミラー部 510 のイナーシャの増大を、招いてしまう。このように、マイクロミラー素子 X5 は、ミラー部 510 の大回転角度を達成しつつ良好な周波数応答を得るのうえで困難性を有する。

#### 【0015】

一方、上述のマイクロミラー素子製造過程において、ウエハ S5 の破損を防止するという観点からは、当該ウエハ S5 は分厚い方が好ましい。しかしながら、マイクロミラー素子 X5 の上述の製造方法では、ウエハ S5 の厚さが、一組の櫛歯電極（例えば一組の櫛歯電極 511, 521）の合計厚さに直接的に反映されるため、製造目的のマイクロミラー素子 X5 における一組の櫛歯電極の合計厚さと同一の厚さを有するウエハ S5 を使用する必要がある。例えば、形成すべき一組の櫛歯電極の合計厚さが  $200\ \mu\text{m}$  である場合、そのような櫛歯電極対を有するマイクロミラー素子 X5 を形成するためには、 $200\ \mu\text{m}$  の厚さのウエハ S5 を使用する必要がある。ウエハ S5 の総厚さが  $200\ \mu\text{m}$  程度以下である場合、素子の製造過程においてウエハ S5 に破損が生じ易いので、当該素子の量産化は困難である。

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0016】

マイクロマシニング技術により作製されるマイクロ構造体では、材料基板（ウエハ）においてエッチング成形される種々の構造部は、上述のように各々所望の厚さを有する場合が多い。しかしながら、従来のバルクマイクロマシニング技術においては、単一マイクロ構造体における各構造部の厚さ寸法についての自由度が上述のように低いために、厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を実現するのが困難な傾向にある。

#### 【0017】

本発明は、このような事情のもとで考え出されたものであって、厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を実現するのに適したマイクロ構造体製造方法を提供することを、目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0018】

本発明の第1の側面によると、第1導体層と、第2導体層と、第3導体層と、第1導体層および第2導体層の間に介在する第1絶縁層と、第2導体層および第3導体層の間に介在する第2絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対し加工を施すことにより、マイクロ構造体を製造するための方法が提供される。この方法は、第1導体層に対し、当該第1導体層上に形成された第1マスクパターンおよび第2マスクパターンを介して、当該第1導体層の厚さ方向の途中までエッチング処理を施すための、第1エッチング工程と、第2マスクパターンを除去するための工程と、第1導体層に対し、第1マスクパターンを介して、第1絶縁層に接する残存マスク部が残存形成されるように第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第2エッチング工程と、第1絶縁層において第2エッチング工程にて露出した箇所に対し、第2導体層に至るまで残存マスク部を介してエッチング処理を施すための、第3エッチング工程と、残存マスク部をエッチング除去するとともに、第2導体層において第3エッチング工程にて露出した箇所に対しエッチング処理を施すための、第4エッチング工程と、を含む。

【0019】

このような方法によると、製造されるマイクロ構造体において、厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を高精度で実現することができる。

【0020】

本発明の第1の側面における第1マスクパターンは、第1導体層の外表面における所定の領域を被覆し、当該被覆領域を含んで材料基板の厚さ方向にわたって延びる所定の部位（第1部位）は、第1～第4エッチング工程では積極的にエッチングされない。したがって、当該第1部位は、第4エッチング工程を終えた時点では、第1～第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有することとなる。また、第4エッチング工程の後に或は第4エッチング工程までに、第1部位に対して第3導体層の側からエッチングを行うことにより、第3導体層を、第3導体層および第2絶縁層を、第3導体層から第2導体層までを、または、第3導体層から第1絶縁層までを、除去する場合、得られる第1部位は、材料基板内に当初から設定されている厚さ寸法（例えば、第3導体層および第2絶縁層がエッチング除去される場合は、第1導体層、第1絶縁層、および第2導体層の合計厚さ）を有することとなる。

【0021】

本発明の第2の側面における第2マスクパターンは、第1導体層の外表面における所定の領域を被覆し、当該被覆領域を含んで基板厚さ方向に延びる所定の部位（第2部位）は、第1および第3エッチング工程では積極的にエッチングされず、第2および第4エッチング工程にて積極的にエッチングされる。第4エッチング工程では、第1絶縁層に至るまで第2部位の残存マスク部がエッチングされる。したがって、当該第2部位は、第4エッチング工程を終えた時点では、第2および第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有することとなる。第4エッチング工程の後に第2部位の第1絶縁層をエッチング除去する場合、当該第2部位は、第2導体層、第2絶縁層、および第3導体層の合計厚さを有することとなる。第4エッチング工程の後に或は第4エッチング工程までに第2部位に対して第3導体層の側からエッチングを行うことにより、当該第2部位の厚さを変更することもできる。

【0022】

第1導体層の外表面には、第1エッチング工程にて何れのマスクパターンによっても被覆されない領域が存在し、当該非被覆領域を含んで基板厚さ方向に延びる所定の部位（第3部位）は、第1～第4エッチング工程にて積極的にエッチングされる。第4エッチング工程では、少なくとも第2導体層の厚さ方向の途中までエッチングされる。第4エッチン

グ工程にて第2導体層に対して第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す場合、当該第3部位は、第4エッチング工程を終えた時点では、第3導体層および第2絶縁層の合計厚さを有することとなる。第4エッチング工程の後に第3部位の第2絶縁層をエッチング除去する場合、当該第3部位は、第3導体層の厚さを有することとなる。第4エッチング工程の後に或は第4エッチング工程までに第3部位に対して第3導体層の側からエッチングを行うことにより、当該第3部位の厚さを変更することもできる。

#### 【0023】

このように、本発明の第1の側面に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロ構造体における複数の構造部の各々について、高い自由度で所望の厚さ寸法を実現することができる。このようなマイクロ構造体製造方法は、所定の素子としてのマイクロ構造体における所望の機能に応じて各構造部を適切に成形するうえで好適である。

#### 【0024】

本発明の第1の側面において、好ましくは、第4エッチング工程において、第2導体層において第2エッチング工程にて露出した箇所に対しては、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す。このような構成によると、第4エッチング工程を終えた時点では、上述の第3部位は、第3導体層および第2絶縁層の合計厚さを有し得ることとなる。

#### 【0025】

好ましくは、本方法は、第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンを介して、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第5エッチング工程を含む。このような構成により、第4エッチング工程の後に又は第4エッチング工程までに、特に上述の第1部位および第2部位の厚さ寸法について変更を加えたり、或は、上述の第1～第3部位にて所定形状を形成することができる。材料基板に対して第3導体層側からのエッチング処理を行う本第5エッチング工程は、第1導体層側からエッチング処理に係る第1エッチング工程の前、第4エッチング工程の後、或は、第1エッチング工程の後から第4エッチング工程の前までの、いずれのタイミングで行ってもよい。本発明の第1の側面において第3導体層側からのエッチング処理を行うための後述の他のエッチング工程のタイミングについても、同様である。

#### 【0026】

好ましくは、第1マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、第2エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が第1導体層において成形され、第3エッチング工程では、櫛歯電極部の絶縁部が第1絶縁層において成形され、第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形される。このような構成により、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0027】

好ましくは、第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、第5エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が第3導体層において成形され、第2エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部が第1導体層において成形され、第4エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され且つ櫛歯電極部の第2導体部が成形される。これとともに、本方法は、好ましくは、第1導体部および第2導体部の間に介在する第2絶縁層において櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第6エッチング工程を更に含む。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0028】

好ましくは、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マスク部を含み、第5エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部が第3導体層において成形され、第2エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極

部の第1導体部が第1導体層において成形され、第3エッチング工程では、第2櫛歯電極部の絶縁部が第1絶縁層において成形され、第4エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、且つ、第1櫛歯電極部の第2導体部および第2櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形される。これとともに、本方法は、好ましくは、第1櫛歯電極部における第1導体部と第2導体部の間に介在する第2絶縁層において当該第1櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第6エッチング工程を更に含む。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第1櫛歯電極部と、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第2櫛歯電極部とを、形成することができる。また、このような構成では、第1および第2櫛歯電極部は、基板厚さ方向において重なりを有する。

#### 【0029】

本発明の第2の側面によると、第1導体層と、第2導体層と、第3導体層と、第1導体層および第2導体層の間に介在する第1絶縁層と、第2導体層および第3導体層の間に介在する第2絶縁層と、を含む積層構造を有する材料基板に対し加工を施すことにより、マイクロ構造体を製造するための他の方法が提供される。この方法は、第1導体層に対し、当該第1導体層上に形成された第1マスクパターンおよび第2マスクパターンを介して、第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第1エッチング工程と、第1絶縁層において第1エッチング工程にて露出した箇所に対し、第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための、第2エッチング工程と、第2マスクパターンを除去するための工程と、第1導体層に対し第1マスクパターンを介してエッチング処理を施すとともに、第2導体層において第2エッチング工程にて露出した箇所に対しエッチング処理を施すための、第3エッチング工程と、を含む。

#### 【0030】

このような方法によると、製造されるマイクロ構造体において、厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を高精度で実現することができる。

#### 【0031】

本発明の第2の側面における第1マスクパターンは、第1導体層の外表面における所定の領域を被覆し、当該被覆領域を含んで材料基板の厚さ方向にわたって延びる所定の部位（第1部位）は、第1～第3エッチング工程では積極的にエッチングされない。したがって、当該第1部位は、第3エッチング工程を終えた時点では、第1～第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有することとなる。また、第3エッチング工程の後に或は第3エッチング工程までに第1部位に対して第3導体層の側からエッチングを行うことにより、当該第1部位の厚さを変更することもできる。

#### 【0032】

本発明の第2の側面における第2マスクパターンは、第1導体層の外表面における所定の領域を被覆し、当該被覆領域を含んで基板厚さ方向に延びる所定の部位（第2部位）は、第1および第2エッチング工程では積極的にエッチングされず、第3エッチング工程にて積極的にエッチングされる。第3エッチング工程では、第1絶縁層に至るまでエッチングすることができる。この場合、当該第2部位は、第3エッチング工程を終えた時点では、第2および第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有することとなる。第3エッチング工程の後に第2部位の第1絶縁層をエッチング除去する場合、当該第2部位は、第2導体層、第2絶縁層、および第3導体層の合計厚さを有することとなる。第3エッチング工程の後に或は第3エッチング工程までに第2部位に対して第3導体層の側からエッチングを行うことにより、当該第2部位の厚さを変更することもできる。

#### 【0033】

第1導体層の外表面には、第1エッチング工程にて何れのマスクパターンによっても被覆されない領域が存在し、当該非被覆領域を含んで基板厚さ方向に延びる所定の部位（第3部位）は、第1～第3エッチング工程にて積極的にエッチングされる。第3エッチング工程では、少なくとも第2導体層の厚さ方向の途中までエッチングされる。第3エッチン

グ工程にて第2導体層に対して第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す場合、当該第3部位は、第3エッチング工程を終えた時点では、第3導体層および第2絶縁層の合計厚さを有することとなる。第3エッチング工程の後に第3部位の第2絶縁層をエッチング除去する場合、当該第3部位は、第3導体層の厚さを有することとなる。第3エッチング工程の後に或は第3エッチング工程までに第3部位に対して第3導体層の側からエッチングを行うことにより、当該第3部位の厚さを変更することもできる。

#### 【0034】

このように、本発明の第2の側面に係るマイクロ構造体製造方法によると、第1の側面に関して上述したのと同様に、製造される単一のマイクロ構造体における複数の構造部の各々について、高い自由度で所望の厚さ寸法を実現することができる。このようなマイクロ構造体製造方法は、所定の素子としてのマイクロ構造体における所望の機能に応じて各構造部を適切に成形するうえで好適である。

#### 【0035】

本発明の第2の側面において、好ましくは、第3エッチング工程において、第1導体層に対しては第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すとともに、第2導体層において第2エッチング工程にて露出した箇所に対しては第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施す。このような構成によると、第3エッチング工程を終えた時点では、上述の第2部位は、上述のように、第2および第3導体層ならびに第1および第2絶縁層の合計厚さを有し得る。また、上述の第3部位は、第3導体層および第2絶縁層の合計厚さを有し得る。

#### 【0036】

好ましくは、本方法は、第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンを介して、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第4エッチング工程を含む。このような構成により、第3エッチング工程の後に或は第3エッチング工程までに、特に上述の第1部位および第2部位の厚さ寸法について変更を加えたり、或は、上述の第1～第3部位にて所定形状を形成することができる。材料基板に対して第3導体層側からのエッチング処理を行う本第4エッチング工程は、第1導体層側からエッチング処理に係る第1エッチング工程の前、第3エッチング工程の後、或は、第1エッチング工程の後から第3エッチング工程の前までの、いずれのタイミングで行ってもよい。本発明の第2の側面において第3導体層側からのエッチング処理を行うための後述の他のエッチング工程のタイミングについても、同様である。

#### 【0037】

好ましくは、第1マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、第1エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が第1導体層において成形され、第2エッチング工程では、櫛歯電極部の絶縁部が第1絶縁層において成形され、第3エッチング工程では、櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形される。このような構成により、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0038】

好ましくは、第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が第3導体層において成形され、第1エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部が第1導体層において成形され、第3エッチング工程では、櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され且つ櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形される。これとともに、本方法は、好ましくは、第1導体部および第2導体部の間に介在する第2絶縁層において櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第5エッチング工程を更に含む。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0039】

好ましくは、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは第1櫛歯電極用第2マスク部を含み、第1マスクパターンは第2櫛歯電極用マス

ク部を含み、第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部が第3導体層において成形され、第1エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部の第1導体部が第1導体層において成形され、第2エッチング工程では、第2櫛歯電極部の絶縁部が第1絶縁層において成形され、第3エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部はエッチング除去され、且つ、第1櫛歯電極部の第2導体部および第2櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形される。これとともに、本方法は、好ましくは、第1櫛歯電極部における第1導体部と第2導体部の間に介在する第2絶縁層において当該第1櫛歯電極部の絶縁部を成形するための第5エッチング工程を更に含む。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第1櫛歯電極部と、第1導体層由来の第1導体部、第1絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する第2櫛歯電極部とを、形成することができる。また、このような構成では、第1および第2櫛歯電極部は、厚さ方向において重なりを有する。

#### 【0040】

好ましくは、第2の側面に係る本方法は、第2絶縁層において第4エッチング工程にて露出した箇所に対し第2導体層に至るまでエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、第2導体層において第5エッチング工程にて露出した箇所に対し第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための第6エッチング工程と、を含む。このような構成により、上述の第1～第3部位にて所定形状を更に形成することができる。

#### 【0041】

好ましくは、第3マスクパターンは櫛歯電極用マスク部を含み、第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が第3導体層において成形され、第5エッチング工程では、櫛歯電極部の絶縁部が第2絶縁層において成形され、第6エッチング工程では、櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形される。第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0042】

好ましくは、第3マスクパターンは櫛歯電極用第1マスク部を含み、第1マスクパターンは櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、櫛歯電極部の第1導体部が第3導体層において成形され、第5エッチング工程では、櫛歯電極部の第1絶縁部が第2絶縁層において成形され、第6エッチング工程では、櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形され、第3エッチング工程では、櫛歯電極部の第3導体部が第1導体層において成形される。これとともに、本方法は、好ましくは、当該第3導体部および第2導体部の間に介在する第1絶縁層において櫛歯電極部の第2絶縁部を成形するための第7エッチング工程を更に含む。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の第1絶縁部、第2導体層由来の第2導体部、第1絶縁層由来の第2絶縁部、および第1導体層由来の第3導体部、よりなる積層構造を有する櫛歯電極部を形成することができる。

#### 【0043】

好ましくは、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、第1マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1導体部および第2櫛歯電極部の第1導体部が第3導体層において成形され、第5エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第1絶縁部および第2櫛歯電極部の第1絶縁部が第2絶縁層において成形され、第6エッチング工程では、第1櫛歯電極部の第2導体部および第2櫛歯電極部の第2導体部が第2導体層において成形され、第3エッチング工程では、第2櫛歯電極部の第3導体部が第1導体層において成形される。これとともに、本方法は、好ましくは、第2櫛歯電極部における第2導体部と第3導体部の間に介在する第1絶縁層において当該第2櫛歯電極部の第2絶縁部を成形するための第7エッチング工程を更に含む。このような構成により、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の絶縁部、および第2導体層由来の第2導体部よりなる積層構造を



有する第1櫛歯電極部と、第3導体層由来の第1導体部、第2絶縁層由来の第1絶縁部、第2導体層由来の第2導体部、第1絶縁層由来の第2絶縁部、および第1導体層由来の第3導体部、よりなる積層構造を有する第2櫛歯電極部を形成することができる。また、このような構成では、第1および第2櫛歯電極部は、厚さ方向において重なりを有する。

【0044】

好ましくは、本方法は、第3導体層に対し、当該第3導体層上に形成された第3マスクパターンおよび第4マスクパターンを介して、第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第4エッチング工程と、第2絶縁層において第4エッチング工程にて露出した箇所に対しエッチング処理を施すための第5エッチング工程と、第4マスクパターンを除去するための工程と、第3導体層に対し第3マスクパターンを介して第2絶縁層に至るまでエッチング処理を施すとともに、第2導体層において第5エッチング工程にて露出した箇所に対し第1絶縁層に至るまでエッチング処理を施すための、第6エッチング工程と、含む。このような構成により、上述の第1～第3部位にて所定形状を形成することができる。

【0045】

好ましくは、第3マスクパターンは第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部を含み、第2マスクパターンは第2櫛歯電極用第2マスク部を含み、第4エッチング工程では、第1櫛歯電極部および第2櫛歯電極用残存マスク部が第3導体層において成形され、第6エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部が第2導体層において成形され、第1エッチング工程では、第2櫛歯電極用残存マスク部が第1導体層において成形され、第3エッチング工程では、第1櫛歯電極用残存マスク部および第2櫛歯電極部残存マスク部はエッチング除去される。このような構成によると、静電気力を生ずるための一組の櫛歯電極部の各々について、第1櫛歯電極用マスク部および第2櫛歯電極用第1マスク部により第3導体層上でパターンニングを行うことができる。同一面上で両電極部のパターンニングを行うことのできる本構成は、両電極部の位置合わせを高精度に又は容易に行ううえで好適である。

【0046】

本発明の第1および第2の側面に係る方法は、好ましくは、第1絶縁層を貫通して第1導体層および第2導体層を電氣的に接続するための第1導電連絡部を形成するための工程、並びに／又は、第2絶縁層を貫通して第3導体層および第2導体層を電氣的に接続するための第2導電連絡部を形成するための工程を、更に含む。このような構成により、第1導体層に由来して形成される所定の部位と、第2導体層に由来して形成される所定の部位とを、電氣的に接続したり、第3導体層に由来して形成される所定の部位と、第2導体層に由来して形成される所定の部位とを、電氣的に接続することができる。

【0047】

本発明の第1および第2の側面に係る方法は、好ましくは、第1絶縁層を貫通し、櫛歯電極部の各々において各導体部を電氣的に接続するための第1導電連絡部を形成するための工程、並びに／又は、第2絶縁層を貫通し、櫛歯電極部の各々において各導体部を電氣的に接続するための第2導電連絡部を形成するための工程を、更に含む。このような構成により、単一の櫛歯電極部の有する複数の導体部は電氣的に相互に接続される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0048】

図1～図5は、本発明に係るマイクロ構造体製造方法により作製することのできるマイクロ構造体の一例であるマイクロミラー素子X1を表す。図1は、マイクロミラー素子X1の斜視図であり、図2はマイクロミラー素子X1の平面図である。また、図3～図5は、各々、図2の線III-III、線IV-IV、および線V-Vに沿った断面図である。

【0049】

マイクロミラー素子X1は、ミラー部110と、これを囲む内フレーム120と、これを囲む外フレーム130と、ミラー部110および内フレーム120を連結する一対のトーションバー140と、内フレーム120および外フレーム130を連結する一対のト

ションバー 150 とを備える。ミラー部 110 と内フレーム 120 との間の離隔距離、および、内フレーム 110 と外フレーム 120 との間の離隔距離は、例えば  $10 \sim 200 \mu\text{m}$  である。一对のトーションバー 140 は、内フレーム 120 に対するミラー部 110 の回転動作の回転軸心 A1 を規定する。一对のトーションバー 150 は、外フレーム 130 に対する内フレーム 120 およびこれに伴うミラー部 110 の回転動作の回転軸心 A1' を規定する。これらトーションバー 140, 150 は、両回転軸心 A1, A1' が直交するように設けられている。図 2 では、トーションバー 140, 150 よりも紙面手前方向に突き出る部位（後出のミラー面 114 を除く）が、ハッチングを付して表されている。また、マイクロミラー素子 X1 は、後述の材料基板 S1 からマイクロマシニング技術により形成されたものであり、当該材料基板 S1 は、後に詳述するように、シリコン層 101, 102, 103 と、シリコン層 101, 102 の間の絶縁層 104 と、シリコン層 102, 103 の間の絶縁層 105 とからなる積層構造を有する。図の簡潔化の観点より、図 1 においては、当該積層構造を表さない。

#### 【0050】

ミラー部 110 は、本体部 111 および櫛歯電極 112, 113 を有する。本体部 111 の上面には、ミラー面 114 が設けられている。櫛歯電極 112, 113 は、各々、複数の電極歯からなり、本体部 111 の一对の端部から延出している。

#### 【0051】

内フレーム 120 は、本体部 121、一对の櫛歯電極 122, 123、および一对の 124, 125 を有する。櫛歯電極 122 ~ 125 は、各々、複数の電極歯からなり、櫛歯電極 122, 123 は、本体部 121 から内方に延出し、櫛歯電極 124, 125 は、本体部 121 から外方に延出している。櫛歯電極 122, 123 は、各々、ミラー部 110 の櫛歯電極 112, 113 に対応する位置に設けられている。櫛歯電極 112, 122 は、図 4 および図 5 によく表れているように、ミラー部 110 の回転動作時において互いに当接しないように配されており、且つ、厚さ方向 Y において部分的に重なり合う。同様に、櫛歯電極 113, 123 も、ミラー部 110 の回転動作時において互いに当接しないように配されており、且つ、厚さ方向 Y において部分的に重なり合う。櫛歯電極 122, 123 の電極歯は、櫛歯電極 112, 113 の電極歯より、厚さ方向 Y において長い。

#### 【0052】

一对のトーションバー 140 は、各々、図 3 によく表れているように、ミラー部 110 および内フレーム 120 よりも薄肉であり、ミラー部 110 の本体部 111 と内フレーム 120 の本体部 121 とに接続している。

#### 【0053】

外フレーム 130 は、本体部 131、および、一对の櫛歯電極 132, 133 を有する。櫛歯電極 132, 133 は、各々、複数の電極歯からなり、本体部 131 から内方に延出し、且つ、内フレーム 120 の櫛歯電極 124, 125 に対応する位置に設けられている。櫛歯電極 124, 132 は、ミラー部 110 の回転動作時において互いに当接しないように配されており、且つ、図 3 および図 4 によく表れているように、厚さ方向 Y において部分的に重なり合う。同様に、櫛歯電極 125, 133 も、ミラー部 110 の回転動作時において互いに当接しないように配されており、且つ、厚さ方向 Y において部分的に重なり合う。また、櫛歯電極 132, 133 の電極歯は、櫛歯電極 124, 125 の電極歯より、厚さ方向 Y において長い。

#### 【0054】

一对のトーションバー 150 は、各々、図 5 によく表れているように、内フレーム 120 および外フレーム 130 よりも薄肉であり、内フレーム 120 の本体部 121 と外フレーム 130 の本体部 131 とに接続している。

#### 【0055】

このようなマイクロミラー素子 X1 において、櫛歯電極 112, 113, 122, 123 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 112, 122 間および／または櫛歯電極 113, 123 間に静電気力を発生させ、ミラー部 110 を

内フレーム 120 に対して回転軸心 A1 まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。また、櫛歯電極 124, 125, 132, 133 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 124, 132 間および／または櫛歯電極 125, 133 間に静電気力を発生させ、内フレーム 120 およびこれに伴うミラー部 110 を外フレーム 130 に対して回転軸心 A1' まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。このようなミラー部 110 の回転駆動により、ミラー部 110 上に設けられたミラー面（図示せず）により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0056】

図 6～図 10 は、本発明の第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子 X1 を製造するための一手法である。図 6～図 10 においては、図 10 (c) に示すミラー部 M1、トーションバー T1～T3、内フレーム F1, F2、一組の櫛歯電極 E1, E2、および外フレーム F3, F4 の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、マイクロマシニングが施される材料基板（多層構造を有するウエハ）における単一のマイクロミラー素子形成区画に含まれる複数の所定箇所の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。図 10 (c) において、ミラー部 M1 は、ミラー部 110 の一部位に相当する。トーションバー T1 は、トーションバー 140 に相当し、その延び方向の断面が表されている。内フレーム F1 は、内フレーム 120 の一部位に相当する。櫛歯電極 E1 は、櫛歯電極 112, 113, 124, 125 の一部に相当する。櫛歯電極 E2 は、櫛歯電極 122, 123, 132, 133 の一部に相当する。トーションバー T2 は、トーションバー 140, 150 に相当し、その横断面が表されている。内フレーム F2 は、内フレーム 120 の他の一部位に相当する。トーションバー T3 は、トーションバー 150 に相当し、その延び方向の断面が表されている。外フレーム F3 は、外フレーム 130 の一部位に相当する。外フレーム F4 は、外フレーム 130 の他の一部位に相当する。

#### 【0057】

第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図 6 (a) に示すような材料基板 S1 を用意する。材料基板 S1 は、シリコン層 101, 102, 103 と、シリコン層 101, 102 の間の絶縁層 104 と、シリコン層 102, 103 の間の絶縁層 105 とからなる積層構造を有する。シリコン層 101～103 は、不純物をドーピングすることにより導電性が付与されたシリコン材料よりなる。不純物としては、B などの p 型不純物や、P および Sb などの n 型不純物を採用することができる。絶縁層 104, 105 は、例えば酸化物材料よりなる。シリコン層 101～103 の厚さは、例えば、各々、200  $\mu\text{m}$ 、3  $\mu\text{m}$ 、および 100  $\mu\text{m}$  である。絶縁層 104, 105 の厚さは、各々、例えば 500 nm である。材料基板 S1 は、シリコン基板表面への酸化膜形成技術および表面酸化膜を介してのシリコン基板の接合技術を利用し、且つ、化学機械研磨 (CMP) 法によるシリコン基板の厚さ調整技術を必要に応じて利用して、作製することができる。材料基板の作製過程において CMP 法を利用する場合、所定のシリコン基板ないしシリコン層について、高精度な厚さ寸法を実現することができる。

#### 【0058】

次に、図 6 (b) に示すように、シリコン層 101, 103 の表面に、各々、酸化膜 11, 12 を形成する。酸化膜 11, 12 は、CVD 法により二酸化ケイ素をシリコン層 101, 103 上に成膜することにより形成することができる。或は、酸化膜 11, 12 は、熱酸化法（加熱温度：例えば 900  $^{\circ}\text{C}$ ）によりシリコン層 101, 103 の表面を酸化することにより形成することができる。酸化膜 11, 12 は、必要に応じて研磨してもよい。酸化膜 11, 12 の厚さは、例えば 0.5～2  $\mu\text{m}$  である。本工程では、酸化膜 11, 12 に代えて窒化膜を形成してもよい。

#### 【0059】

次に、図6(c)に示すように、シリコン層101、103上に、各々、所定の開口部を有するレジストパターン13、14を形成する。レジストパターン13、14の形成においては、まず、酸化膜11、12上に液状のフォトレジストをスピンコーティングにより成膜する。次に、露光処理およびその後の現像処理を経て、当該フォトレジスト膜をパターンニングする。フォトレジストとしては、例えば、AZP4210(クラリアントジャパン製)やAZ1500(クラリアントジャパン製)を使用することができる。後出のレジストパターンについても、このようなフォトレジストの成膜ならびにその後の露光処理および現像処理を経て、形成することができる。

#### 【0060】

次に、図6(d)に示すように、レジストパターン13、14をマスクとして酸化膜11、12をエッチングする。エッチング手法としては、ドライエッチングまたはウエットエッチングを採用することができる。ドライエッチングを採用する場合、エッチングガスとしては、例えば、フッ化水素などを採用することができる。ウエットエッチングを採用する場合、エッチング液としては、例えば、フッ酸とフッ化アンモニウムからなるバッファードフッ酸(BHF)を使用することができる。酸化膜、酸化膜パターン、または絶縁層に対する後出のエッチング手法ないし除去手法としても、このようなドライエッチングやウエットエッチングを採用することができる。このような酸化膜11、12のパターンニングの後、レジストパターン13、14は、除去せずに残しておくのが好ましい。

#### 【0061】

次に、図7(a)に示すように、シリコン層101を貫通するホールH1'を形成し、シリコン層103を貫通するホールH2'を形成する。ホールH1'の形成においては、前工程にてパターンニングされた酸化膜11、或は、残存する場合にはレジストパターン13をマスクとして、DRIE(Deep Reactive Ion Etching)により、シリコン層101に対して絶縁層104に至るまでエッチング処理を行う。DRIEでは、エッチングと側壁保護とを交互に行うBoschプロセスにおいて、良好なエッチング処理を行うことができる。後出のDRIEについても、このようなBoschプロセスを採用することができる。一方、ホールH2'の形成においては、前工程にてパターンニングされた酸化膜12、或は、残存する場合にはレジストパターン14をマスクとして、DRIEにより、シリコン層103に対して絶縁層105に至るまでエッチング処理を行う。

#### 【0062】

次に、図7(b)に示すように、絶縁層104においてホールH1'に露出する箇所をエッチング除去することにより、シリコン層101に加えて絶縁層104を貫通するホールH1を形成し、絶縁層105においてホールH2'に露出する箇所を除去することにより、シリコン層103に加えて絶縁層105を貫通するホールH2を形成する。図6(d)の工程を終えた後にもレジストパターン13、14を残しておく、当該レジストパターン13、14は本工程においてもマスクとして機能することができ、効率的である。

#### 【0063】

次に、図7(c)に示すように、剥離液を作用させることにより、レジストパターン13、14(別のレジストパターンを使用した場合には当該別のレジストパターン)を剥離する。剥離液としては、AZリムーバ700(クラリアントジャパン製)を使用することができる。後出のレジストパターンの剥離に際しても、この剥離液を使用することができる。

#### 【0064】

次に、図7(d)に示すように、例えばCVD法により、ホールH1、H2の内部に導電材料P'を堆積させる。このとき、酸化膜11、12上にも堆積するまで、充分量の導電材料P'をホールH1、H2に供給する。導電材料P'としては、所定の不純物をドーパさせたポリシリコン、または、CuやWなどの金属を、採用することができる。導電材料P'とシリコン層101~103との良好な電氣的接続を確保するうえでは、導電材料P'を堆積させる直前に、ホールH1、H2の表面における自然酸化膜を、フッ酸などを作用させることにより除去しておくのが好ましい。

## 【0065】

次に、図8(a)に示すように、シリコン層101、103の表面を露出させる。具体的には、所定のドライエッチングまたはウエットエッチングにより、ホールH1、H2外の導電材料P'をエッチング除去した後、酸化膜11、12をエッチング除去する。導電材料P'の除去手法としてウエットエッチングを採用する場合、エッチング液としてはKOH水溶液を使用することができる。本工程は、このような手法に代えて、ホールH1、H2外の導電材料P'および酸化膜11、12をCMP法により研磨して除去する手法を採用してもよい。本工程にて、材料基板S1に埋設されたプラグP1、P2が形成されることとなる。プラグP1は、シリコン層101とシリコン層102を電氣的に接続し、プラグP2は、シリコン層103とシリコン層102を電氣的に接続する。

## 【0066】

次に、図8(b)に示すように、シリコン層103上にミラー面114を形成し、シリコン層101上に外部接続用の電極パッド15(図1~図5において図示せず)を形成する。ミラー面114の形成においては、まず、スパッタリング法により、シリコン層103に対して例えばCr(50nm)およびこれに続いてAu(200nm)を成膜する。次に、所定のマスクを介してこれら金属膜に対してエッチング処理を順次行うことにより、ミラー面114をパターン形成する。Auに対するエッチング液としては、例えば、ヨウ化カリウム-ヨウ素水溶液を使用することができる。Crに対するエッチング液としては、例えば硝酸第二セリウムアンモニウム水溶液を使用することができる。所定のパターン形状を有する電極パッド15の形成手法は、ミラー面114の形成手法と同一である。

## 【0067】

次に、図8(c)に示すように、シリコン層101上に酸化膜パターン16を形成し、シリコン層103上には酸化膜パターン17を形成する。酸化膜パターン16は、内フレームF2、櫛歯電極E2、および外フレームF3、F4に対応するパターン形状を有し、酸化膜パターン17は、ミラー部M1、内フレームF1、F2、櫛歯電極E1、および外フレームF3、F4に対応するパターン形状を有する。酸化膜パターン16の形成においては、まず、CVD法により、シリコン層101の表面に、厚さが例えば1 $\mu$ mとなるまで例えば二酸化ケイ素を成膜する。次に、シリコン層101上の当該酸化膜について、所定のレジストパターンをマスクとしたエッチングによりパターンニングする。酸化膜パターン17および後出の酸化膜パターンについても、酸化物材料の成膜、酸化膜上のレジストパターンの形成、およびその後のエッチング処理、を経て形成される。

## 【0068】

次に、図8(d)に示すように、酸化膜パターン17をマスクとして、DRIEにより、シリコン層103に対し絶縁層105に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M1の一部、内フレームF1、F2の一部、櫛歯電極E1の一部、および外フレームF3、F4の一部が成形される。

## 【0069】

次に、図9(a)に示すように、シリコン層101上にレジストパターン18を形成する。レジストパターン18は、ミラー部M1の一部をマスクするとともに、内フレームF1、トーションバーT1~T3、および櫛歯電極E2に対応するパターン形状を有する。

## 【0070】

次に、図9(b)に示すように、酸化膜パターン16およびレジストパターン18をマスクとして、DRIEにより、シリコン層101に対して所定の深さまでエッチング処理を行う。当該所定の深さは、トーションバーT1~T3の厚さ、即ちシリコン層102の厚さに応じて適宜決定され、例えば10 $\mu$ mである。本工程のエッチング処理により、内フレームF2の一部、櫛歯電極E2の一部、および外フレームF3、F4の一部が成形される。本工程の後、図9(c)に示すように、レジストパターン18を除去する。

## 【0071】

次に、図9(d)に示すように、酸化膜パターン16をマスクとして、DRIEにより、シリコン層101に対して、櫛歯電極E1用の残存マスク部101aおよびトーション

バー用の残存マスク部 101b が残存形成されるように、絶縁層 104 に至るまでエッチング処理を行う。残存マスク部 101a, 101b は、併せて、レジストパターン 18 に対応するパターン形状を有する。残存マスク部 101a, 101b の厚さは、前工程における所定深さに略相当し、例えば  $10\mu\text{m}$  である。本工程のエッチング処理により、内フレーム F2 の一部、櫛歯電極 E2 の一部、および外フレーム F3, F4 の一部が成形される。

#### 【0072】

次に、図 10 (a) に示すように、残存マスク部 101a, 101b を含むシリコン層 101 由来部位をマスクとして、絶縁層 104 に対しシリコン層 102 に至るまでエッチング処理を行う。本工程において、絶縁層 104 の一部が十分にエッチング除去される前に、酸化膜パターン 16 がマスクとして機能できない程度にまで除去されないよう、絶縁層 104 および酸化膜パターン 16 の厚さを設定しておく必要がある。或は、本工程においてエッチング選択性を利用すべく、シリコン層 101 に対するマスクとしては、酸化膜パターン 16 に代えて、窒化膜や金属膜よりなるパターンを採用してもよい。

#### 【0073】

次に、図 10 (b) に示すように、DRIE により、シリコン層 102 において前工程にて露出した箇所に対し絶縁層 105 に至るまでエッチング処理を行う。このとき、残存マスク部 101a, 101b もエッチング除去される。本工程のエッチング処理により、ミラー部 M1 の一部、トーションバー T1~T3、内フレーム F1, F2 の一部、一組の櫛歯電極 E1, E2 の一部、および外フレーム F3, F4 の一部が成形される。この後、図 10 (c) に示すように、絶縁層 104, 105 において露出している箇所、および、酸化膜パターン 16, 17 を、エッチング除去する。

#### 【0074】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部 M1、トーションバー T1~T3、内フレーム F1, F2、櫛歯電極 E1, E2、および外フレーム F3, F4 が形成される。すなわち、図 1~図 5 に示すマイクロミラー素子 X1 が製造される。

#### 【0075】

本実施形態においては、図 9 (a) を参照して上述した工程の後、図 9 (b)~図 10 (b) を参照して上述した工程に代えて、図 11 に示す一連の工程を採用してもよい。図 9 (a) に示すようにシリコン層 101 上にレジストパターン 18 を形成した後、本代替手法においては、まず、図 11 (a) に示すように、酸化膜パターン 16 およびレジストパターン 18 をマスクとして、DRIE により、シリコン層 101 に対して絶縁層 104 に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極 E1 用の残存マスク部 101a、内フレーム F2 の一部、櫛歯電極 E2 の一部、および外フレーム F3, F4 の一部が成形される。次に、図 11 (b) に示すように、第 1 絶縁層 104 において前工程にて露出した箇所に対しシリコン層 102 に至るまでエッチング処理を行う。次に、レジストパターン 18 を除去した後、図 11 (c) に示すように、DRIE により、シリコン層 101 に対して酸化膜パターン 16 をマスクとして絶縁層 104 に至るまでエッチング処理するとともに、シリコン層 102 に対して、前工程でパターニングされた絶縁層 104 をマスクとして絶縁層 105 に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、残存マスク部 101a が除去されるとともに、ミラー部 M1 の一部、トーションバー T1~T3、内フレーム F1, F2 の一部、一組の櫛歯電極 E1, E2 の一部、および外フレーム F3, F4 の一部が成形される。この後、図 10 (c) を参照して上述した工程を経ることにより、図 1~図 5 に示すマイクロミラー素子 X1 が得られる。

#### 【0076】

本代替手法では、シリコン層 101 とシリコン層 102 の厚さの差が極めて大きい場合に、図 11 (c) を参照して上述した工程において、シリコン層 102 にノッチが入りやすい。すなわち、シリコン層 102 にてノッチが形成されやすい。両シリコン層 101, 102 の厚さの差が極めて大きい場合、絶縁層 105 に至るまでシリコン層 102 がエッチングされた後から、絶縁層 104 に至るまでシリコン層 101 がエッチングされるま

での時間が過度に長くなり、当該長時間にわたって、シリコン層 102 はエッチング環境下に曝されるためである。したがって、両シリコン層 101, 102 の厚さの差が極めて大きい場合には、本代替手法よりも、図 9 (b) ~ 図 10 (b) を参照して上述した手法を採用する方が好ましい。

#### 【0077】

本実施形態においては、ミラー部 M1、内フレーム F1, F2、および外フレーム F3, F4 より薄肉であり且つ高精度の厚さ寸法を有するトーションバー T1 ~ T3 を形成することができる。図 6 (a) を参照して上述した材料基板 S1 の作製過程では、シリコン層 101, 103 より薄く且つ高精度の厚さ寸法を有するシリコン層 102 を形成することができ、トーションバー T1 ~ T3 は、このようなシリコン層 102 から当該シリコン層 102 と同一の厚さで成形されるからである。トーションバー T1 ~ T3 の厚さは、材料基板 S1 におけるシリコン層 102 の厚さを適宜設定することにより、調節することができる。ミラー部 M1、内フレーム F1, F2、および外フレーム F3, F4 の厚さについても、例えばシリコン層 102 の厚さに応じてシリコン層 101, 103 の厚さを適宜設定することにより、高精度に調節することができる。このように、第 1 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子 X1 における複数の構造部（ミラー部 110、内フレーム 120、外フレーム 130、トーションバー 140, 150）の各々について、高い自由度で且つ高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができるのである。

#### 【0078】

また、本実施形態においては、上述のように、厚さ方向 Y において部分的に重なり合う一組の櫛歯電極 E1, E2 を形成することができる。本実施形態で形成される櫛歯電極 E1 は、導体部 E1a, E1b とこれらの間の絶縁部 E1c とからなる積層構造を有し、櫛歯電極 E2 は、導体部 E2a, E2b とこれらの間の絶縁部 E2c とからなる積層構造を有する。シリコン層 102 に由来する導体部 E1b および導体部 E2b において両櫛歯電極 E1, E2 は重なり合う。したがって、重なり合う程度、すなわち厚み方向 Y におけるオーバーラップ部分の長さは、材料基板 S1 におけるシリコン層 102 の厚さを適宜設定することにより、高精度で調節することができる。厚さ方向 Y における櫛歯電極 E1 の長さは主にシリコン層 102, 103 に依存し、厚さ方向 Y における櫛歯電極 E2 の長さは主にシリコン層 101, 102 に依存し、両長さは、上述のように高い自由度で設定することができる。本実施形態では、櫛歯電極 E2（櫛歯電極 122, 123, 132, 133）の方が櫛歯電極 E1（櫛歯電極 112, 113, 124, 125）より長い。すなわち、櫛歯電極 E1 の方が櫛歯電極 E2 より軽い。櫛歯電極 E1 が軽いほど、これを伴う可動部は軽量化される。また、厚み方向 Y において櫛歯電極 E2 が長いほど、一組の櫛歯電極 E1, E2 による相互作用範囲が厚み方向 Y において長くなる。したがって、本構成は、回転軸心 A1 まわりのミラー部 110 の回転変位について、ミラー部 110 の軽量化を図りつつ大きな変位角度を達成するうえで好ましく、且つ、内フレーム 120 およびこれに伴うミラー部 110 の回転軸心 A1' まわりの回転変位について、当該可動部の軽量化を図りつつ大きな変位角度を達成するうえで好ましい。

#### 【0079】

本実施形態においては、ミラー部 M1 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T1（同じくシリコン層 102 に由来する）に連続する部位を有し、且つ、内フレーム F1 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T1 に連続する部位を有する。また、シリコン層 102 は上述のように導電性を有する。したがって、ミラー部 M1（ミラー部 110）と内フレーム F1（内フレーム 120）とは、トーションバー T1（トーションバー 140）を介して電気的に接続されている。また、内フレーム F2 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T3（同じくシリコン層 102 に由来する）に連続する部位を有し、且つ、外フレーム F3 は、シリコン層 102 に由来してトーションバー T3 に連続する部位を有する。したがって、内フレーム F2（内フレーム 120）と外フレーム F3（外フレーム 130）とは、トーションバー T3（トーションバー 150）を介して

電氣的に接続されている。

#### 【0080】

本実施形態においては、外フレームF4は、シリコン層101に由来する部位、および、シリコン層102に由来する部位を有する。これら2つの部位は、上述のように導電性を有し、且つ、プラグP1により電氣的に接続されている。また、ミラー部M1は、シリコン層102に由来する部位、および、シリコン層103に由来する部位を有する。これら2つの部位は、上述のように導電性を有し、且つ、プラグP2により電氣的に接続されている。シリコン層101由来部位とシリコン層102由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP1、および、シリコン層102由来部位とシリコン層103由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP2は、ミラー部110、内フレーム120、および外フレーム130の所定の箇所に適宜埋設することができる。プラグP1を適切な箇所に形成することにより、例えば、櫛歯電極E2の導体部E2a, E2bを電氣的に接続することができる。同様に、プラグP2を適切な箇所に形成することにより、例えば、櫛歯電極E1の導体部E1a, E1bを電氣的に接続することができる。

#### 【0081】

図12～図15は、本発明に係るマイクロ構造体製造方法により作製することのできるマイクロ構造体の一例であるマイクロミラー素子X2を表す。図12は、マイクロミラー素子X2の平面図であり、図13～図15は、各々、図12の線XIII-XIII、線XIV-XIV、および線XV-XVに沿った断面図である。

#### 【0082】

マイクロミラー素子X2は、ミラー部210と、これを囲む内フレーム220と、これを囲む外フレーム230と、ミラー部210および内フレーム220を連結する一对のトーションバー240と、内フレーム220および外フレーム230を連結する一对のトーションバー250とを備える。ミラー部210と内フレーム220との間の離隔距離、および、内フレーム210と外フレーム220との間の離隔距離は、例えば10～200 $\mu$ mである。一对のトーションバー240は、内フレーム220に対するミラー部210の回転動作の回転軸心A2を規定する。一对のトーションバー250は、外フレーム230に対する内フレーム220およびこれに伴うミラー部210の回転動作の回転軸心A2'を規定する。これらトーションバー240, 250は、両回転軸心A2, A2'が直交するように設けられている。図12では、トーションバー240, 250よりも紙面手前方向に突き出る部位（後述のミラー面214を除く）が、ハッチングを付して表されている。また、マイクロミラー素子X2は、後述の材料基板S2からマイクロマシニング技術により形成されたものであり、当該材料基板S2は、後に詳述するように、シリコン層201, 202, 203と、シリコン層201, 202の間の絶縁層204と、シリコン層202, 203の間の絶縁層205とからなる積層構造を有する。

#### 【0083】

ミラー部210は、本体部211および櫛歯電極212, 213を有する。本体部211の上面には、ミラー面214が設けられている。本体部211は、周縁部を除いて薄肉に設けられている。櫛歯電極212, 213は、各々、複数の電極歯からなり、本体部211の一对の端部から延出している。

#### 【0084】

内フレーム220は、本体部221、一对の櫛歯電極222, 223、および一对の224, 225を有する。櫛歯電極222～225は、各々、複数の電極歯からなり、櫛歯電極222, 223は、本体部221から内方に延出し、櫛歯電極224, 225は、本体部221から外方に延出している。櫛歯電極222, 223は、各々、ミラー部210の櫛歯電極212, 213に対応する位置に設けられている。櫛歯電極212, 222は、図14および図15によく表れているように、厚さ方向Yにおいて重なり合う。同様に、櫛歯電極213, 223も、厚さ方向Yにおいて重なり合う。櫛歯電極222, 223の電極歯は、櫛歯電極212, 213の電極歯より、厚さ方向Yにおいて短い。

#### 【0085】



外フレーム 230 は、本体部 231、および、一对の櫛歯電極 232、233 を有する。櫛歯電極 232、233 は、各々、複数の電極歯からなり、本体部 231 から内方に延出し、且つ、内フレーム 220 の櫛歯電極 224、225 に対応する位置に設けられている。櫛歯電極 224、232 は、図 13 および図 14 によく表れているように、厚さ方向 Y において重なり合う。同様に、櫛歯電極 225、233 も、厚さ方向 Y において重なり合う。また、櫛歯電極 232、233 の電極歯は、櫛歯電極 224、225 の電極歯より、厚さ方向 Y において長い。

#### 【0086】

一对のトーションバー 240 は、各々、ミラー部 210 の本体部 211 と内フレーム 220 の本体部 221 とに接続している。一对のトーションバー 250 は、各々、内フレーム 220 の本体部 221 と外フレーム 230 の本体部 231 とに接続している。

#### 【0087】

このようなマイクロミラー素子 X2 において、櫛歯電極 212、213、222、223 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 212、222 間および／または櫛歯電極 213、223 間に静電気力を発生させ、ミラー部 210 を内フレーム 220 に対して回転軸心 A2 まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。また、櫛歯電極 224、225、232、233 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 224、232 間および／または櫛歯電極 225、233 間に静電気力を発生させ、内フレーム 220 およびこれに伴うミラー部 210 を外フレーム 230 に対して回転軸心 A2' まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。このようなミラー部 210 の回転駆動により、ミラー部 210 上に設けられたミラー面（図示せず）により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0088】

図 16～図 20 は、本発明の第 2 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子 X2 を製造するための一手法である。図 16～図 20 においては、図 20 (d) に示すミラー部 M2、内フレーム F5、F6、一組の櫛歯電極 E3、E4、および外フレーム F7 の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、マイクロマシニングが施される材料基板（多層構造を有するウエハ）における単一のマイクロミラー素子形成区画に含まれる複数の所定箇所の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。図 20 (d) において、ミラー部 M2 は、ミラー部 210 の一部位に相当する。内フレーム F5 は、内フレーム 220 の一部位に相当する。櫛歯電極 E3 は、櫛歯電極 222～225 の一部に相当する。櫛歯電極 E4 は、櫛歯電極 212、213、232、233 の一部に相当する。内フレーム F6 は、内フレーム 220 の他の一部位に相当する。外フレーム F7 は、外フレーム 230 の一部位に相当する。

#### 【0089】

第 2 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図 16 (a) に示すような材料基板 S2 を用意する。材料基板 S2 は、シリコン層 201、202、203 と、シリコン層 201、202 の間の絶縁層 204 と、シリコン層 202、203 の間の絶縁層 205 とからなる積層構造を有する。シリコン層 201～203 は、不純物をドーピングすることにより導電性が付与されたシリコン材料よりなる。絶縁層 204、205 は、例えば酸化物材料よりなる。シリコン層 201～203 の厚さは、例えば、各々、200  $\mu$ m、100  $\mu$ m、および 20  $\mu$ m である。絶縁層 204、205 の厚さは、各々、例えば 500 nm である。材料基板 S2 は、材料基板 S1 と同様の手法を経て作製することができる。

#### 【0090】

次に、図 16 (b) に示すように、シリコン層 201 上に、金属膜 21 を形成する。金属膜 21 は、例えば、スパッタリング法により、シリコン層 201 に対して Cr (50 nm

m) およびこれに続いてAu (200 nm)を成膜することにより、形成することができる。後述するように、電極パッドを含む所定の配線パターンが当該金属膜21から形成される。したがって、そのような金属膜21の形成は、本実施形態のように、材料基板S2 (ウエハ) が清浄なうちに行うのが好ましい。

#### 【0091】

次に、図16 (c) に示すように、シリコン層203上に、所定の開口部を有するレジストパターン22を形成する。次に、図16 (d) に示すように、シリコン層203を貫通するホールH3'を形成する。具体的には、ドライエッチングや異方性ウエットエッチングなどにより、レジストパターン22をマスクとして、シリコン層203に対して絶縁層205に至るまでエッチング処理する。

#### 【0092】

次に、図17 (a) に示すように、絶縁層205においてホールH3'に露出する箇所をエッチング除去することにより、シリコン層203に加えて絶縁層205を貫通するホールH3を形成する。エッチング手法としては、ドライエッチングを採用することができる。この後、図17 (b) に示すように、剥離液を作用させることにより、レジストパターン22を剥離する。

#### 【0093】

次に、図17 (c) に示すように、シリコン層203上およびホールH3内を被覆する金属膜23を形成する。金属膜23の形成手法は、例えば、金属膜21に関して上述したのと同様である。シリコン層203が薄いので、図17 (b) に表れているようなテーパ状のホールH3であれば、スパッタリングであっても金属材料をホールH3内面に適切に堆積させることができる。シリコン層203が所定状に厚い場合には、図16 (d) を参照して上述したホールH3'の形成手法としてはDRIEを採用し、且つ、ホールH3内には、第1の実施形態において図7 (d) および図8 (a) を参照したのと同様に、CVD法およびCMP法を利用して導電材料を充填するのが好ましい。本工程の後、図17 (d) に示すように、所定のマスクを介して金属膜21, 23に対してエッチング処理を行うことにより、金属膜21において外部接続用の電極パッド24を含む所定の配線パターン (図12～図15において図示せず) を形成し、金属膜23においてミラー面214およびプラグP3を形成する。

#### 【0094】

次に、図18 (a) に示すように、CVD法により、材料基板S2の両面に酸化膜25, 26を形成する。酸化膜25, 26は、例えば、酸化シリコンよりなり、1  $\mu$ mの厚みを有する。この後、図18 (b) に示すように、酸化膜25をパターニングして酸化膜パターン27を形成する。酸化膜パターン27は、ミラー部M2の一部、櫛歯電極E4、および外フレームF7に対応するパターン形状を有する。

#### 【0095】

次に、図18 (c) に示すように、酸化膜26をパターニングして酸化膜パターン28を形成する。具体的には、酸化膜26上にレジストパターン28'を形成した後、当該レジストパターン28'をマスクとして酸化膜26に対してエッチング処理を行う。酸化膜パターン28は、ミラー部M2、内フレームF5, F6、櫛歯電極E1、および外フレームF7に対応するパターン形状を有する。

#### 【0096】

次に、図18 (d) に示すように、ドライエッチングまたはウエットエッチングなどにより、シリコン層203において前工程にて露出した箇所に対し絶縁層205に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、内フレームF5, F6の一部、櫛歯電極E3, F4の一部、および外フレームF7の一部が成形される。

#### 【0097】

次に、図19 (a) に示すように、絶縁層205において前工程にて露出した箇所に対しシリコン層202に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、内フレームF5, F6の一部、櫛歯電極E3, F4の一部、および外フ

ームF7の一部が成形される。本工程の後、剥離液を作用させることにより、レジストパターン28'を除去する。

【0098】

次に、図19(b)に示すように、酸化膜パターン28をマスクとして、DRIEにより、シリコン層202に対して絶縁層204に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、内フレームF5、F6、櫛歯電極E3、櫛歯電極F4の一部、および外フレームF7の一部が成形される。

【0099】

次に、図19(c)に示すように、シリコン層201上に、所定の開口部を有するレジストパターン29を形成する。本工程では、レジストパターン29に代えて同一パターン形状の窒化膜パターンを形成してもよい。次に、図19(d)に示すように、レジストパターン29をマスクとして、DRIEにより、シリコン層201に対して絶縁層204に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部が成形される。

【0100】

次に、図20(a)に示すように、絶縁層204において前工程にて露出した個所に対しシリコン層202に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部が成形される。この後、図20(b)に示すように、レジストパターン29を除去する。

【0101】

次に、図20(c)に示すように、DRIEにより、シリコン層201に対して酸化膜パターン27をマスクとして絶縁層204に至るまでエッチング処理するとともに、シリコン層202に対して、図20(a)を参照して上述した工程にてシリコン層202において露出した箇所に対し絶縁層205に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M2の一部、櫛歯電極E4の一部、および外フレームF7の一部が成形される。この後、図20(d)に示すように、絶縁層204、205において露出している箇所、および、酸化膜パターン27、28を、エッチング除去する。

【0102】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部M2、内フレームF5、F6、櫛歯電極E3、E4、および外フレームF7が形成される。すなわち、図12～図15に示すマイクロミラー素子X2が製造される。

【0103】

本実施形態においては、周縁部を除く箇所が内フレームF5、F6、櫛歯電極E3、E4、および外フレームF7より薄肉なミラー部M2を形成することができる。ミラー部M2における当該薄肉箇所は材料基板S2におけるシリコン層203の厚さに相当する。したがって、材料基板S1におけるシリコン層102の厚さを適宜設定することにより、ミラー部M2の薄肉部の厚さ調節し、ミラー部M2(ミラー部210)について所望の軽量化を図ることができる。

【0104】

また、本実施形態では、厚さ方向Yにおける櫛歯電極E3の長さについて、シリコン層203に応じて主にシリコン層202の厚さを適宜設定することにより、高精度に調節することができる。これとともに、厚さ方向Yにおける櫛歯電極E4の長さについて、シリコン層203、202に応じて主にシリコン層201の厚さを適宜設定することにより、高精度に調節することができる。

【0105】

このように、第2の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子X2において厚さの異なるミラー部M2および櫛歯電極E3、E4の各々について、高い自由度で且つ高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができるのである。特に、マイクロミラー素子X2は、薄肉のため軽量のミラー部M2と、厚さ方向Yにおいて分厚い櫛歯電極E4を含む一組の櫛歯電極E3、E4とを備えるので、駆動

電圧の低減や駆動速度の向上を図るのに適している。

【0106】

加えて、本実施形態においては、上述のように、厚さ方向Yにおいて重なり合う一組の櫛歯電極E3、E4を形成することができる。本実施形態で形成される櫛歯電極E3は、導体部E3a、E3bとこれらの間の絶縁部E3cとからなる積層構造を有し、櫛歯電極E4は、導体部E4a、E4b、E4cと絶縁部E4d、E4eとからなる積層構造を有する。櫛歯電極E3の全体と、櫛歯電極E4の導体部E4a、E4bおよび絶縁部E4dとが、厚さ方向Yにおいて重なり合う。

【0107】

また、本実施形態においては、第1の実施形態において上述した手法により、シリコン層201由来部位とシリコン層202由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP1、および、シリコン層202由来部位とシリコン層203由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP2を、ミラー部210、内フレーム220、および外フレーム230の所定の箇所に適宜埋設してもよい。プラグP1を適切な箇所に形成することにより、櫛歯電極E4の導体部E4a、E4bを電氣的に接続することができる。同様に、プラグP2を適切な箇所に形成することにより、櫛歯電極E3の導体部E3a、E3bを電氣的に接続することができ、また、櫛歯電極E4の導体部E4a、E4bを電氣的に接続することができる。

【0108】

図21～図24は、本発明に係るマイクロ構造体製造方法により作製することのできるマイクロ構造体の一例であるマイクロミラー素子X3を表す。図21は、マイクロミラー素子X3の平面図であり、図22～図24は、各々、図21の線XXII-XXII、線XXIII-XXIII、および線XXIV-XXIVに沿った断面図である。

【0109】

マイクロミラー素子X3は、ミラー部310と、これを囲む内フレーム320と、これを囲む外フレーム330と、ミラー部310および内フレーム320を連結する一対のトーションバー340と、内フレーム320および外フレーム330を連結する一対のトーションバー350とを備える。ミラー部310と内フレーム320との間の離隔距離、および、内フレーム310と外フレーム320との間の離隔距離は、例えば10～200μmである。一対のトーションバー340は、内フレーム320に対するミラー部310の回転動作の回転軸心A3を規定する。一対のトーションバー350は、外フレーム330に対する内フレーム320およびこれに伴うミラー部310の回転動作の回転軸心A3'を規定する。これらトーションバー340、350は、両回転軸心A3、A3'が直交するように設けられている。図21では、トーションバー340、350よりも紙面手前方向に突き出る部位（後述のミラー面314を除く）が、ハッチングを付して表されている。また、マイクロミラー素子X3は、後述の材料基板S3からマイクロマシニング技術により形成されたものであり、当該材料基板S3は、後に詳述するように、シリコン層301、302、303と、シリコン層301、302の間の絶縁層304と、シリコン層302、303の間の絶縁層305とからなる積層構造を有する。

【0110】

ミラー部310は、本体部311および櫛歯電極312、313を有する。本体部311の上面には、ミラー面314が設けられている。櫛歯電極312、313は、各々、複数の電極歯からなり、本体部311の一対の端部から延出している。

【0111】

内フレーム320は、本体部321、一対の櫛歯電極322、323、および一対の324、325を有する。櫛歯電極322～325は、各々、複数の電極歯からなり、櫛歯電極322、323は、本体部321から内方に延出し、櫛歯電極324、325は、本体部321から外方に延出している。櫛歯電極322、323は、各々、ミラー部310の櫛歯電極312、313に対応する位置に設けられている。櫛歯電極312、322は、図23および図24によく表れているように、ミラー部310の回転動作時において互

いに当接しないように配されている。同様に、櫛歯電極 313, 323 も、ミラー部 310 の回転動作時において互いに当接しないように配されている。

#### 【0112】

一对のトーションバー 340 は、各々、図 22 によく表れているように、ミラー部 310 および内フレーム 320 よりも薄肉であり、ミラー部 310 の本体部 311 と内フレーム 320 の本体部 321 とに接続している。

#### 【0113】

外フレーム 330 は、本体部 331、および、一对の櫛歯電極 332, 333 を有する。櫛歯電極 332, 333 は、各々、複数の電極歯からなり、本体部 331 から内方に延出し、且つ、内フレーム 320 の櫛歯電極 324, 325 に対応する位置に設けられている。櫛歯電極 324, 332 は、図 22 および図 23 によく表れているように、ミラー部 310 の回転動作時において互いに当接しないように配されている。同様に、櫛歯電極 325, 333 も、ミラー部 310 の回転動作時において互いに当接しないように配されている。外フレーム 330 の本体部 331 は、図 22～図 24 によく表れているように、基板厚み方向 Y において櫛歯電極 322, 323, 332, 333 よりも下方に長い。

#### 【0114】

一对のトーションバー 350 は、各々、図 24 によく表れているように、内フレーム 320 および外フレーム 330 よりも薄肉であり、内フレーム 320 の本体部 321 と外フレーム 330 の本体部 331 とに接続している。

#### 【0115】

このようなマイクロミラー素子 X3 において、櫛歯電極 312, 313, 322, 323 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 312, 322 間および／または櫛歯電極 313, 323 間に静電気力を発生させ、ミラー部 310 を内フレーム 320 に対して回転軸心 A3 まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。また、櫛歯電極 324, 325, 332, 333 の各々に対して必要に応じて所望の電位を付与することにより、櫛歯電極 324, 332 間および／または櫛歯電極 325, 333 間に静電気力を発生させ、内フレーム 320 およびこれに伴うミラー部 310 を外フレーム 330 に対して回転軸心 A3' まわりに回転変位させることができる。変位量は、付与電位を調整することにより、調節することができる。このようなミラー部 310 の回転駆動により、ミラー部 310 上に設けられたミラー面（図示せず）により反射される光の反射方向を切り換えることができる。

#### 【0116】

図 25～図 27 は、本発明の第 3 の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子 X3 を製造するための一手法である。図 25～図 27 においては、図 27 (c) に示すミラー部 M3、トーションバー T4～T6、内フレーム F8, F9、一組の櫛歯電極 E5, E6、および外フレーム F10, F11 の形成過程を、一の断面の変化として表す。当該一の断面は、マイクロマシニングが施される材料基板（多層構造を有するウエハ）における単一のマイクロミラー素子形成区画に含まれる複数の所定箇所の断面を、モデル化して連続断面として表したものである。図 27 (c) において、ミラー部 M3 は、ミラー部 310 の一部位に相当する。トーションバー T4 は、トーションバー 340 に相当し、その延び方向の断面が表されている。内フレーム F8 は、内フレーム 320 の一部位に相当する。櫛歯電極 E5 は、櫛歯電極 312, 313, 324, 325 の一部に相当する。櫛歯電極 E6 は、櫛歯電極 322, 323, 332, 333 の一部に相当する。トーションバー T5 は、トーションバー 340, 350 に相当し、その横断面が表されている。内フレーム F9 は、内フレーム 320 の他の一部位に相当する。トーションバー T6 は、トーションバー 350 に相当し、その延び方向の断面が表されている。外フレーム F10 は、外フレーム 330 の一部位に相当する。外フレーム F11 は、外フレーム 330 の他の一部位に相当する。

## 【0117】

第3の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図25(a)に示すような材料基板S3を用意する。材料基板S3は、シリコン層301、302、303と、シリコン層301、302の間の絶縁層304と、シリコン層302、303の間の絶縁層305とからなる積層構造を有する。シリコン層301～303は、不純物をドーピングすることにより導電性が付与されたシリコン材料よりなる。絶縁層304、305は、例えば酸化珪素材料よりなる。シリコン層301～303の厚さは、各々、例えば100 $\mu$ mである。絶縁層304、305の厚さは、各々、例えば500nmである。材料基板S3は、材料基板S1と同様の手法を経て作製することができる。

## 【0118】

次に、図25(b)に示すように、シリコン層303上にミラー面314を形成し、シリコン層301上に外部接続用の電極パッド31(図21～図24において図示せず)を形成する。ミラー面314および電極パッド31の形成手法は、第1の実施形態におけるミラー面114および電極パッド15の形成手法と同一である。

## 【0119】

次に、図25(c)に示すように、シリコン層301上に酸化膜パターン32を形成し、シリコン層303上には酸化膜パターン33およびレジストパターン34を形成する。酸化膜パターン32は、外フレームF10、F11に対応するパターン形状を有し、酸化膜パターン33は、ミラー部M3、内フレームF8、F9、櫛歯電極E5、および外フレームF10、F11に対応するパターン形状を有する。また、レジストパターン34は、トーションバーT4～T6に対応するパターン形状を有する。

## 【0120】

次に、図25(d)に示すように、酸化膜パターン33およびレジストパターン34をマスクとして、DRIEにより、シリコン層303に対し所定の深さまでエッチング処理を行う。所定の深さとは、トーションバーT4～T6の厚みに相当する深さであり、例えば10 $\mu$ mである。本工程のエッチング処理により、ミラー部M3の一部、内フレームF8、F9の一部、櫛歯電極E5の一部、および外フレームF10、F11の一部が成形される。

## 【0121】

次に、レジストパターン34を除去した後、図26(a)に示すように、トーションバーT4～T6を残存形成しつつ、シリコン層303に対し絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、ミラー部M3、トーションバーT4～T6、内フレームF8、F9の一部、櫛歯電極E5、および外フレームF10、F11の一部が成形される。

## 【0122】

次に、図26(b)に示すように、シリコン層301上にレジストパターン35を形成する。レジストパターン35は、内フレームF8、F9、櫛歯電極E6、および外フレームF10、F11に対応するパターン形状を有する。次に、図26(c)に示すように、レジストパターン35をマスクとして、DRIEによりシリコン層301に対し絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極E6用の残存マスク部301a、内フレーム用の残存マスク部301b、外フレームF10、F11の一部が成形される。次に、図26(d)に示すように、絶縁層304において前工程にて露出した箇所に対しシリコン層302に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、外フレームF10、F11の一部が成形される。

## 【0123】

次に、図27(a)に示すように、レジストパターン35を除去する。次に、図27(b)に示すように、DRIEにより、シリコン層301に対して酸化膜パターン32をマスクとして絶縁層304に至るまでエッチング処理するとともに、シリコン層302に対して、図26(d)を参照して上述した工程にて露出した箇所に対し絶縁層305に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、残存マスク部301a、301b

が除去されるとともに、内フレームF 8, F 9の一部、櫛歯電極E 6、および外フレームF 10, F 11の一部が成形される。この後、図27(c)に示すように、絶縁層304, 305において露出している箇所、および、酸化膜パターン32, 33を、エッチング除去する。

#### 【0124】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部M 3、トーションバーT 4~T 6、内フレームF 8, F 9、櫛歯電極E 5, E 6、および外フレームF 10, F 11が形成される。すなわち、図21~図24に示すマイクロミラー素子X 3が製造される。

#### 【0125】

本実施形態においては、材料基板S 3におけるシリコン層302, 303の厚さを適宜設定することにより、ミラー部M 3、一組の櫛歯電極E 5, E 6、および内フレームF 8, F 9の厚さを調節することができ、加えてシリコン層301の厚さを適宜調整することにより外フレームF 10, F 11の厚さを調整することができ、且つ、ミラー部M、内フレームF 8, F 9、櫛歯電極E 5, E 6、および外フレームF 10, F 11より薄肉のトーションバーT 4~T 6を形成することができる。他の部位から独立して厚さを調整できる外フレームF 10, F 11について十分な厚さを確保することにより、製造過程において材料基板S 3の破損を防止することができる。このように、第3の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子X 3における複数の構造部（ミラー部310、内フレーム320、外フレーム330、トーションバー340, 350）の各々について、高い自由度で且つ高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができるのである。

#### 【0126】

また、本実施形態においては、第1の実施形態において上述した手法により、シリコン層301由来部位とシリコン層302由来部位とを電気的に接続するためのプラグP 1、および、シリコン層302由来部位とシリコン層303由来部位とを電気的に接続するためのプラグP 2を、ミラー部310、内フレーム320、および外フレーム330の所定の箇所に適宜埋設してもよい。

#### 【0127】

図28~図31は、本発明の第4の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一連の工程を表す。この方法は、マイクロマシニング技術により上述のマイクロミラー素子X 3を製造するための一手法である。図28~図31においては、図25~図27におけるのと同様に、ミラー部M 3、トーションバーT 4~T 6、内フレームF 8, F 9、一組の櫛歯電極E 5, E 6、および外フレームF 10, F 11の形成過程を、一の断面の変化として表す。

#### 【0128】

第4の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法においては、まず、図28(a)に示すように、図25(b)に示す状態にまで加工した材料基板S 3におけるシリコン層303上に、窒化膜パターン36を形成する。例えば、例えばCVD法によりシリコン層303上に窒化ケイ素などの窒化物材料を成膜した後、所定のレジストパターンをマスクとして当該窒化膜をエッチングすることにより、窒化膜パターン36を形成することができる。窒化膜パターン36は、トーションバーT 4~T 6に対応するパターン形状を有する。

#### 【0129】

次に、図28(b)に示すように、シリコン層301上に酸化膜パターン32を形成し、シリコン層303上には酸化膜パターン33を形成する。上述のように、酸化膜パターン32は、外フレームF 10, F 11に対応するパターン形状を有し、酸化膜パターン33は、ミラー部M 3、内フレームF 8, F 9、櫛歯電極E 5、および外フレームF 10, F 11に対応するパターン形状を有する。

#### 【0130】

次に、図28(c)に示すように、シリコン層303上にレジストパターン37を形成する。レジストパターン37は、内フレームF 8, F 9、外フレームF 10, F 11、お

よび櫛歯電極E 5, E 6に対応するパターン形状を含む。次に、図28 (d) に示すように、レジストパターン37をマスクとして、DRIEにより、シリコン層303に対し絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極E 6用の残存マスク部303 a、ミラー部M3の一部、内フレームF 8, F 9の一部、および櫛歯電極E 5が成形される。

#### 【0131】

次に、図29 (a) に示すように、絶縁層304において前工程にて露出した箇所に対しシリコン層302に至るまでエッチング処理を行う。この後、図29 (b) に示すように、レジストパターン37を除去する。

#### 【0132】

次に、図29 (c) に示すように、DRIEにより、窒化膜パターン36および酸化膜パターン33をマスクとしてシリコン層303に対し所定深さまでエッチング処理を行うとともに、図29 (a) に示す工程にてシリコン層302において露出した箇所に対し所定深さまでエッチング処理を行う。所定の深さとは、トーションバーT4~T6の厚みに相当する深さであり、例えば10  $\mu$ mである。本工程のエッチング処理により、残存マスク部303 aの一部が除去されるとともに、ミラー部M3の一部、内フレームF 8, F 9の一部、櫛歯電極E 6の一部、および外フレームF 10, F 11の一部が成形される。この後、図29 (d) に示すように、窒化膜パターン36を除去する。

#### 【0133】

次に、図30 (a) に示すように、トーションバーT4~T6を残存形成しつつ、シリコン層303に対し絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。これとともに、シリコン層302に対し絶縁層303に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、残存マスク部303 aが除去されるとともに、櫛歯電極E 5用の残存マスク部302 a、ミラー部M3、トーションバーT4~T6、内フレームF 8, F 9、櫛歯電極E 6、および外フレームF 10, F 11の一部が成形される。

#### 【0134】

次に、図30 (b) に示すように、シリコン層301上にレジストパターン38を形成する。レジストパターン38は、内フレームF 8, F 9および櫛歯電極E 6に対応するパターン形状を有する。次に、図30 (c) に示すように、レジストパターン38をマスクとして、シリコン層301に対し絶縁層304に至るまでエッチング処理を行う。本エッチング処理により、櫛歯電極E 6用の残存マスク部301 a、内フレーム用の残存マスク部301 b、および外フレームF 11の一部が成形される。

#### 【0135】

次に、図30 (d) に示すように、絶縁層304において露出する箇所をエッチング除去する。次に、図31 (a) に示すように、レジストパターン38を除去する。次に、図31 (b) に示すように、酸化膜パターン32をマスクとして、シリコン層301に対して絶縁層304に至るまでエッチング処理を行うとともに、シリコン層302において露出する箇所に対し絶縁層305に至るまでエッチング処理を行う。本工程のエッチング処理により、残存マスク部301 a, 301 b, 302 aが除去されるとともに、内フレームF 8, F 9の一部、櫛歯電極E 6、および外フレームF 10, F 11の一部が成形される。この後、図31 (c) に示すように、絶縁層304, 305において露出している箇所、および、酸化膜パターン32, 33を、エッチング除去する。

#### 【0136】

以上の一連の工程を経ることにより、ミラー部M3、トーションバーT4~T6、内フレームF 8, F 9、櫛歯電極E 5, E 6、および外フレームF 10, F 11が形成される。すなわち、図21~図24に示すマイクロミラー素子X3が製造される。

#### 【0137】

本実施形態によると、第3の実施形態と同一のマイクロミラー素子X3を製造することができる。したがって、本実施形態に係るマイクロ構造体製造方法によると、製造される単一のマイクロミラー素子X3における複数の構造部の各々について、高い自由度で且つ



高い精度で、所望の厚さ寸法を実現することができ、第3の実施形態に関して上述したのと同様の利益を享受することができる。

【0138】

加えて、本実施形態においては、櫛歯電極E5のパターニングは酸化膜パターン33によりシリコン層303上にて行われ、且つ、櫛歯電極E6のパターニングはレジストパターン37によりシリコン層303上にて行われる。このように、本実施形態においては、一組の櫛歯電極E5、E6の各々について同一面上でパターニングを行うことのできるで、両櫛歯電極E5、E6の位置合わせを高精度に又は容易に行うことができる。

【0139】

また、本実施形態においては、第1の実施形態において上述した手法により、シリコン層301由来部位とシリコン層302由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP1、および、シリコン層302由来部位とシリコン層303由来部位とを電氣的に接続するためのプラグP2を、ミラー部310、内フレーム320、および外フレーム330の所定の箇所に適宜埋設してもよい。

【図面の簡単な説明】

【0140】

【図1】本発明の第1の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法により得られるマイクロミラー素子の斜視図である。

【図2】図1に示すマイクロミラー素子の平面図である。

【図3】図2の線III-IIIに沿った断面図である。

【図4】図2の線IV-IVに沿った断面図である。

【図5】図2の線V-Vに沿った断面図である。

【図6】本発明の第1の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工程を表す。

【図7】図6の後に続く工程を表す。

【図8】図7の後に続く工程を表す。

【図9】図8の後に続く工程を表す。

【図10】図9の後に続く工程を表す。

【図11】本発明の第1の実施形態における一部の工程の代替工程を表す。

【図12】本発明の第2の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法により得られるマイクロミラー素子の平面図である。

【図13】図12の線XIII-XIIIに沿った断面図である。

【図14】図12の線XIV-XIVに沿った断面図である。

【図15】図12の線XV-XVに沿った断面図である。

【図16】本発明の第2の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工程を表す。

【図17】図16の後に続く工程を表す。

【図18】図17の後に続く工程を表す。

【図19】図18の後に続く工程を表す。

【図20】図19の後に続く工程を表す。

【図21】本発明の第3および第4の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法により得られるマイクロミラー素子の平面図である。

【図22】図21の線XXII-XXIIに沿った断面図である。

【図23】図21の線XXIII-XXIIIに沿った断面図である。

【図24】図21の線XXIV-XXIVに沿った断面図である。

【図25】本発明の第3の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工程を表す。

【図26】図25の後に続く工程を表す。

【図27】図26の後に続く工程を表す。

【図28】本発明の第4の実施形態に係るマイクロ構造体製造方法における一部の工

程を表す。

【図 29】図 28 の後に続く工程を表す。

【図 30】図 29 の後に続く工程を表す。

【図 31】図 30 の後に続く工程を表す。

【図 32】従来のマイクロミラー素子の一部切欠き斜視図である。

【図 33】一組の櫛歯電極の配向を表す。

【図 34】図 32 に示すマイクロミラー素子の製造方法における一部の工程を表す。

【符号の説明】

【0141】

X1, X2, X3, X5          マイクロミラー素子

110, 210, 310, M1, M2, M3          ミラー部

120, 220, 320, F1, F2, F5, F6, F8, F9          内フレーム

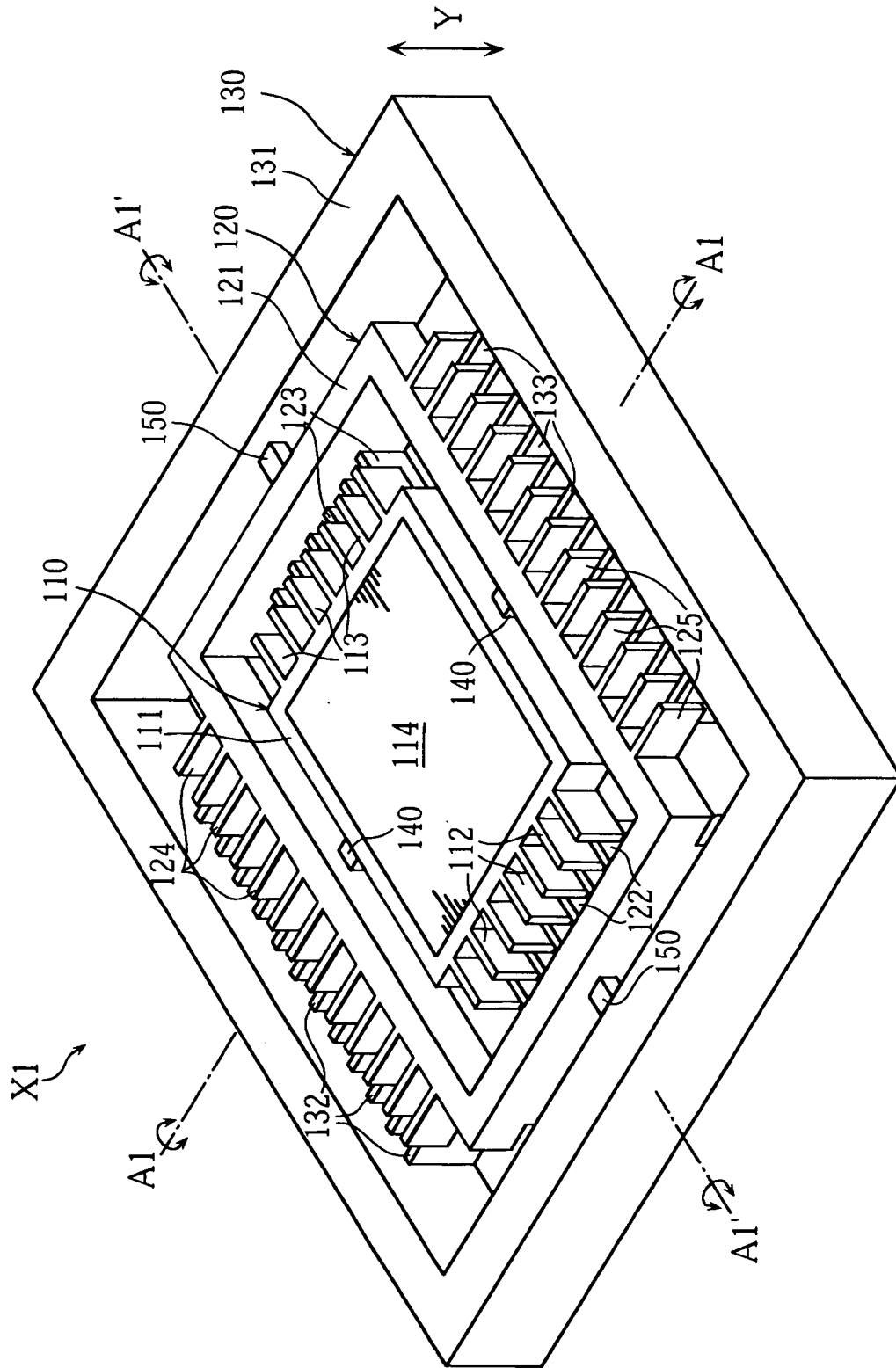
130, 230, 330, F3, F4, F7, F10, F11          外フレーム

140, 150, 240, 250, 340, 350, T1~T6          トーションバー

【書類名】 図面

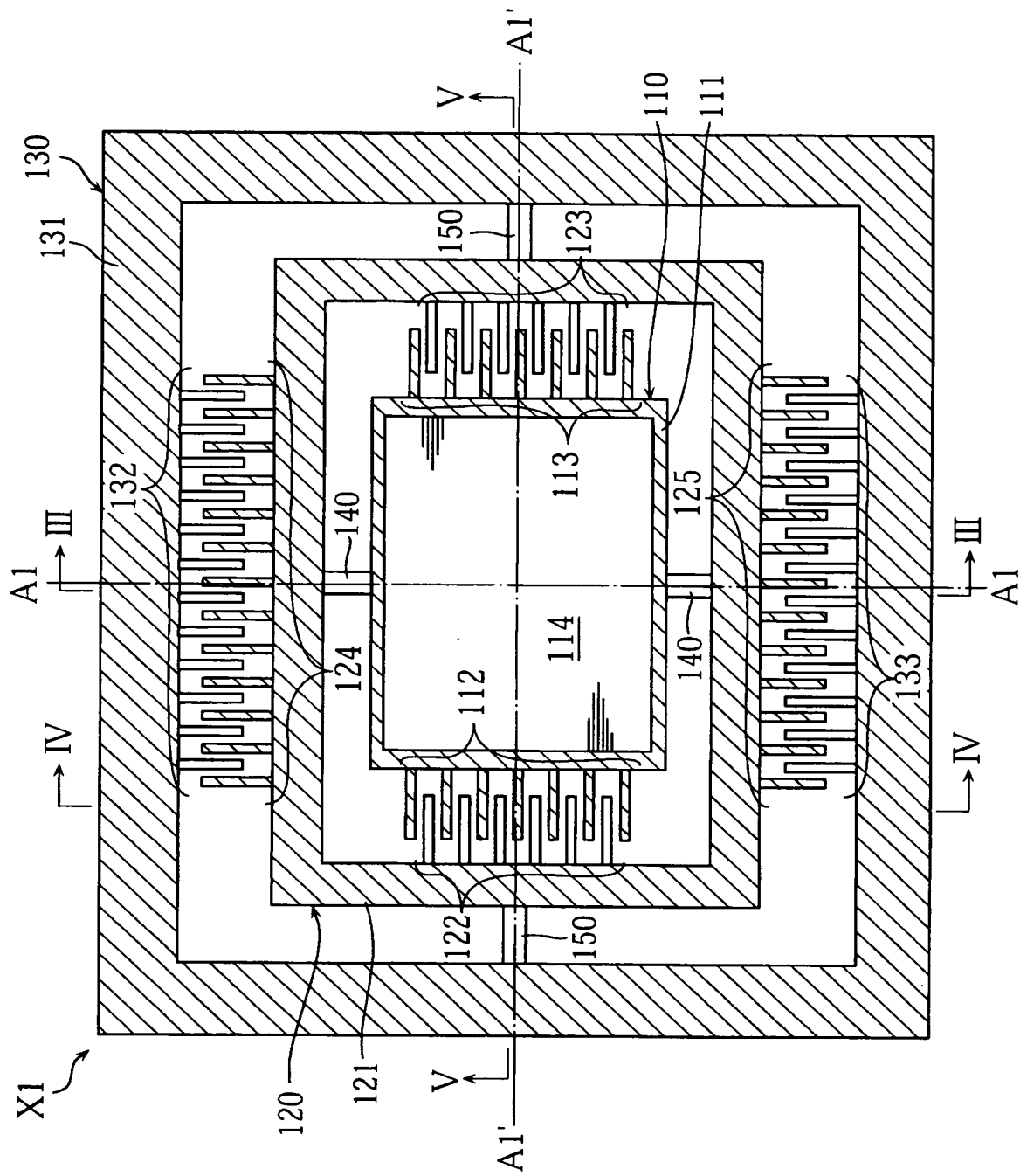
【図 1】

本発明により製造することのできるマイクロミラー素子



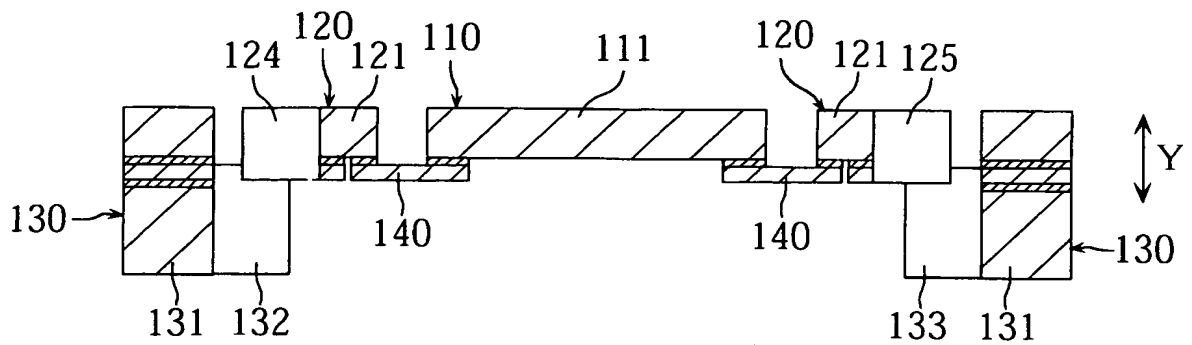
【図 2】

図1に示すマイクロミラー素子の平面図



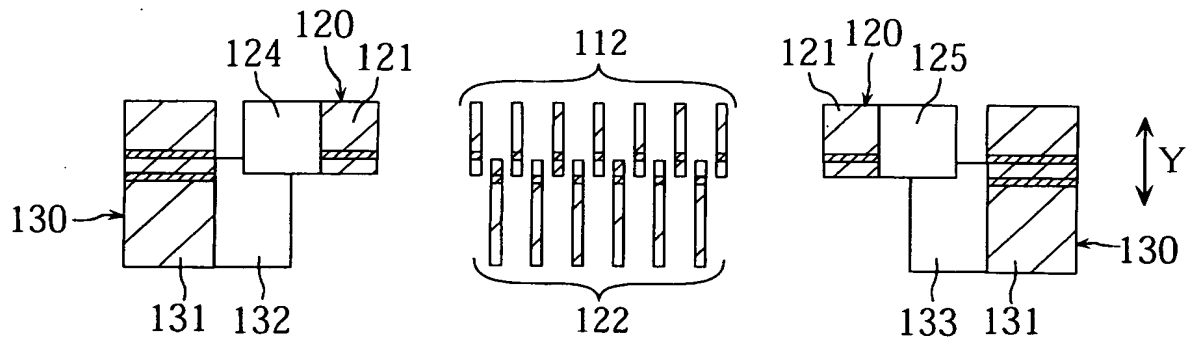
【図 3】

図2の線III-IIIに沿った断面図



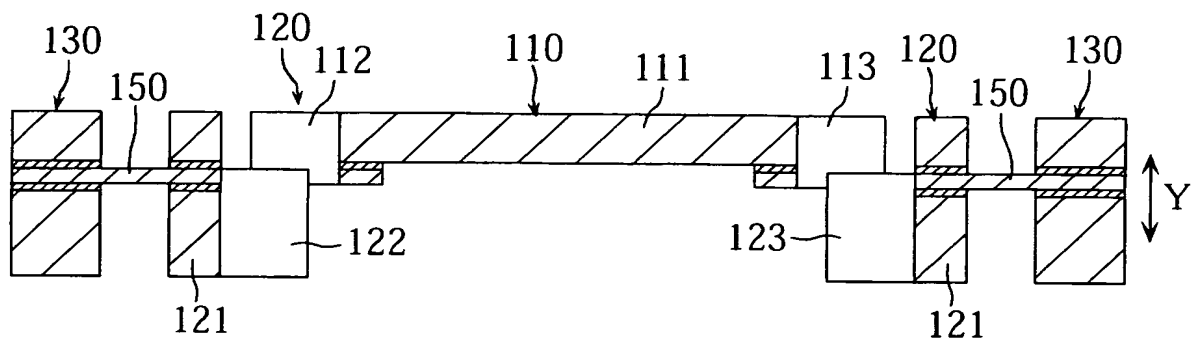
【図 4】

図2の線IV-IVに沿った断面図



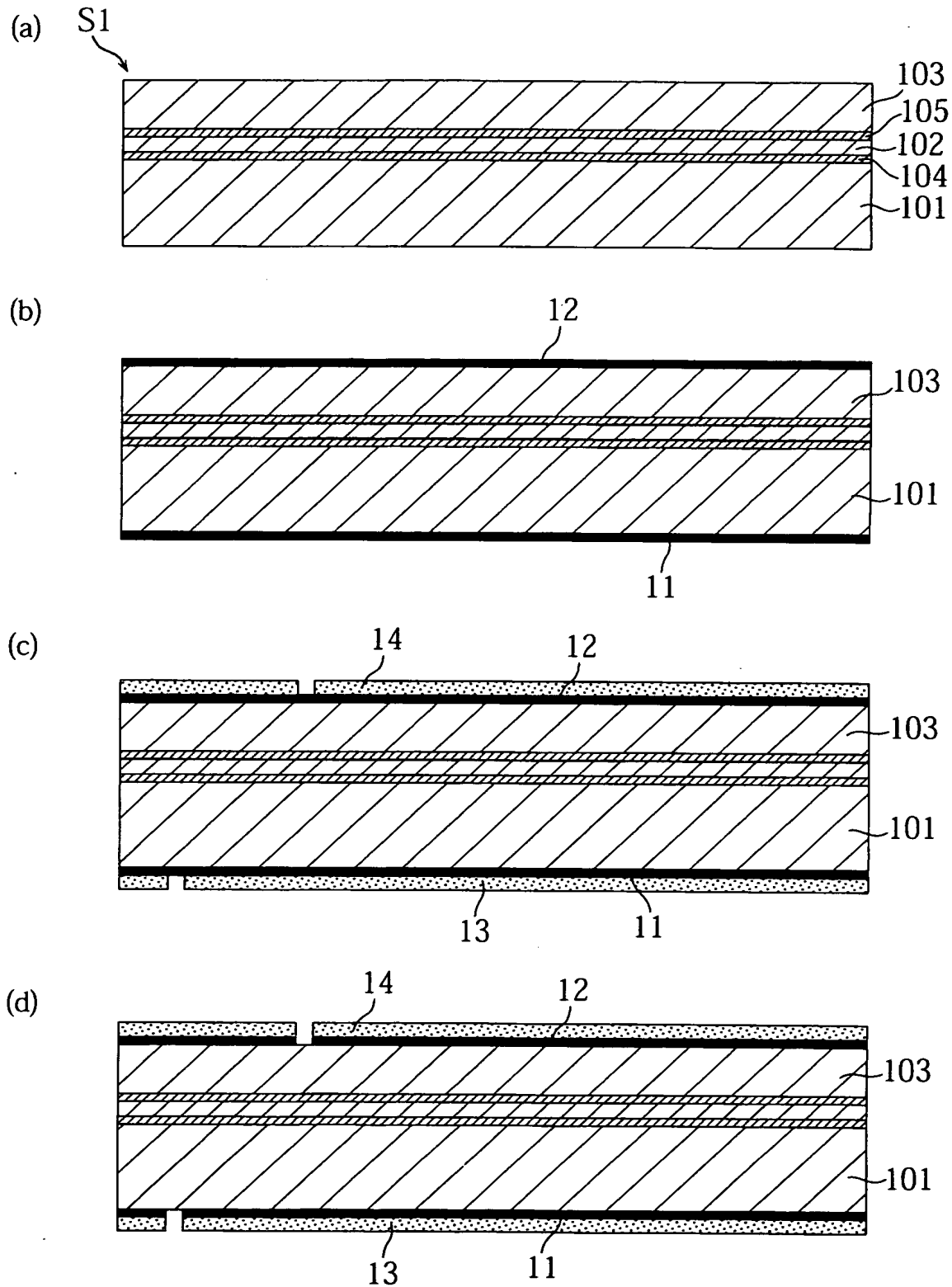
【図 5】

図2の線V-Vに沿った断面図



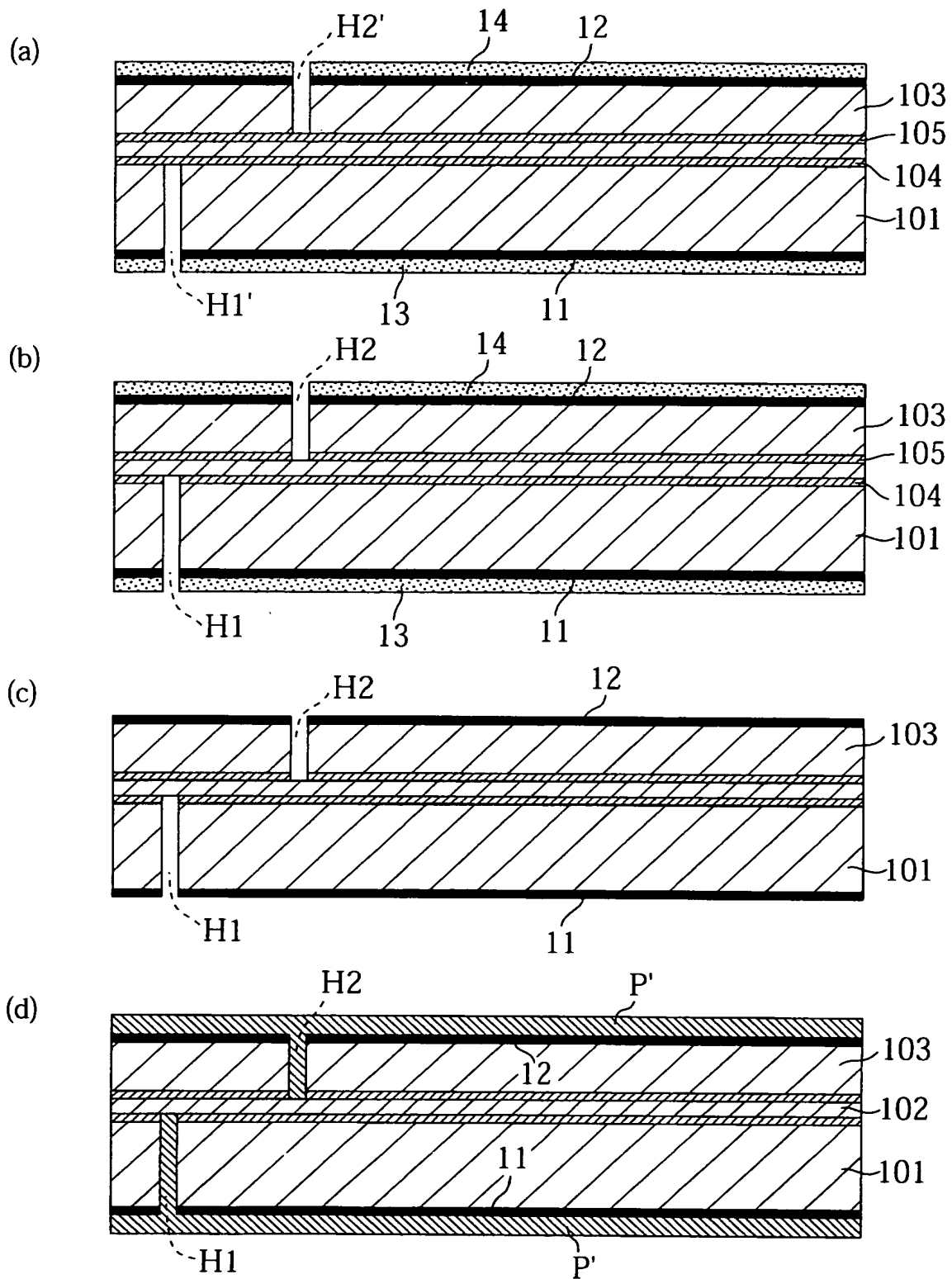
【図 6】

## 第1の実施形態のマイクロ構造体製造方法



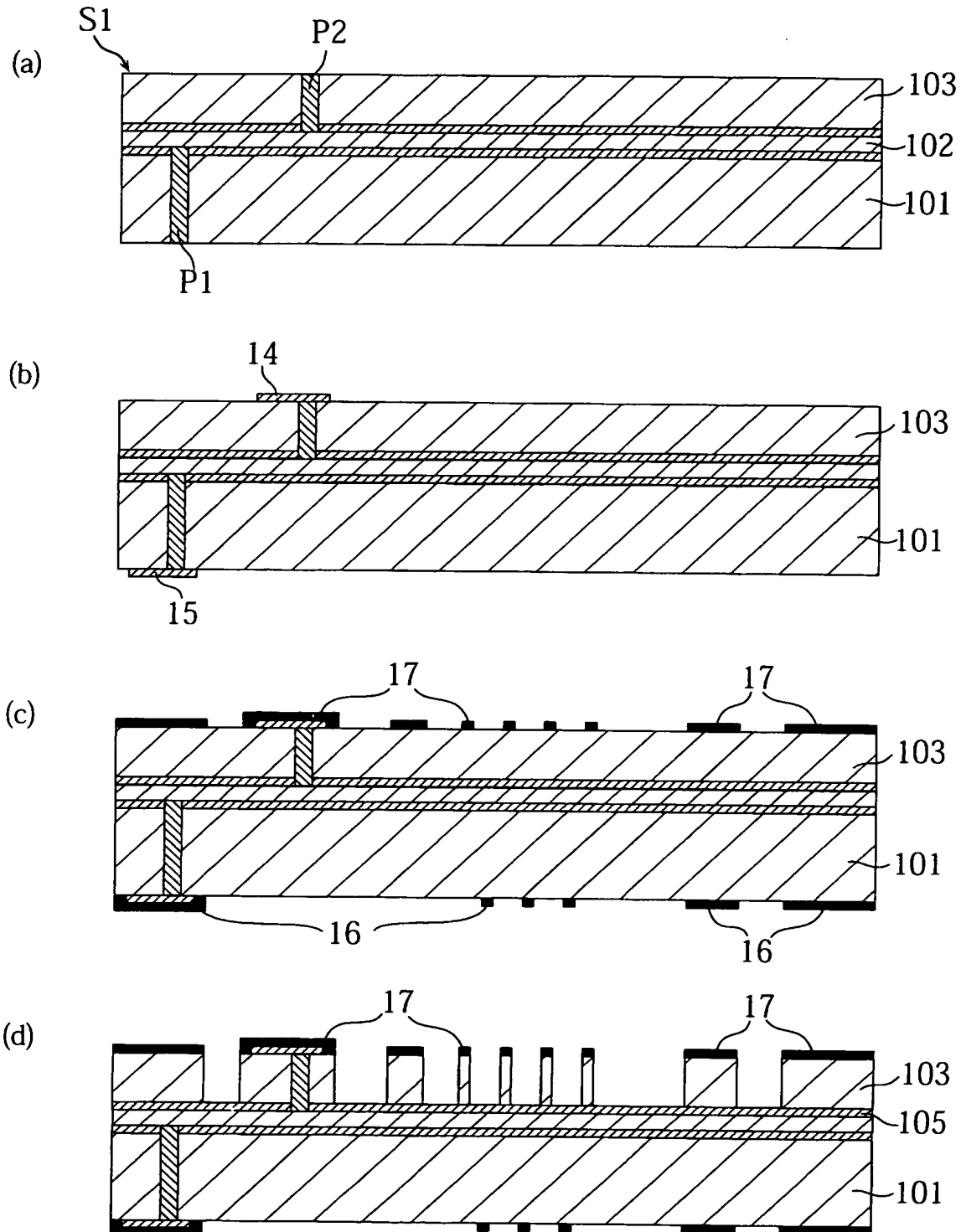
【図 7】

図6の後に続く工程



【図 8】

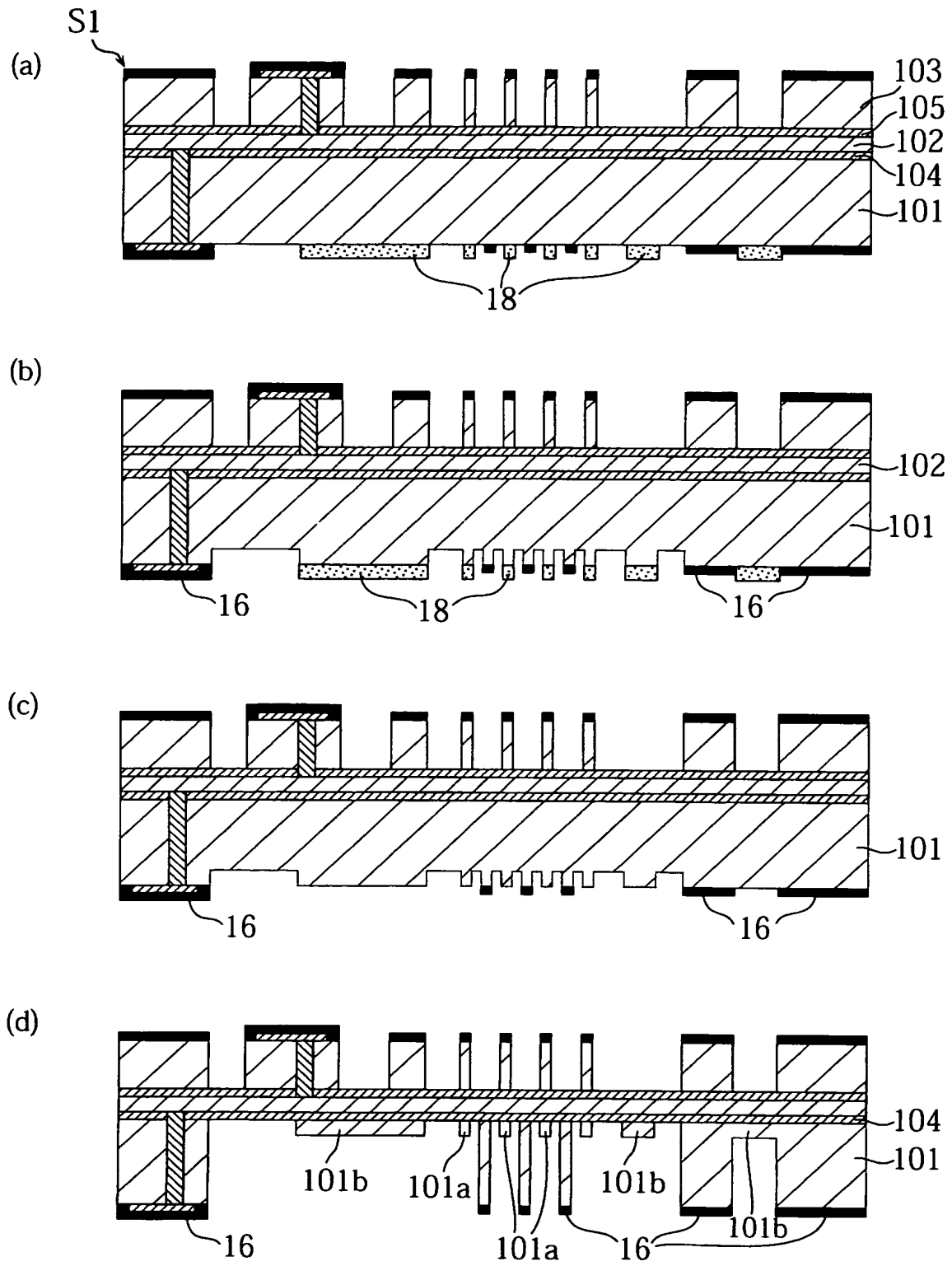
図7の後に続く工程





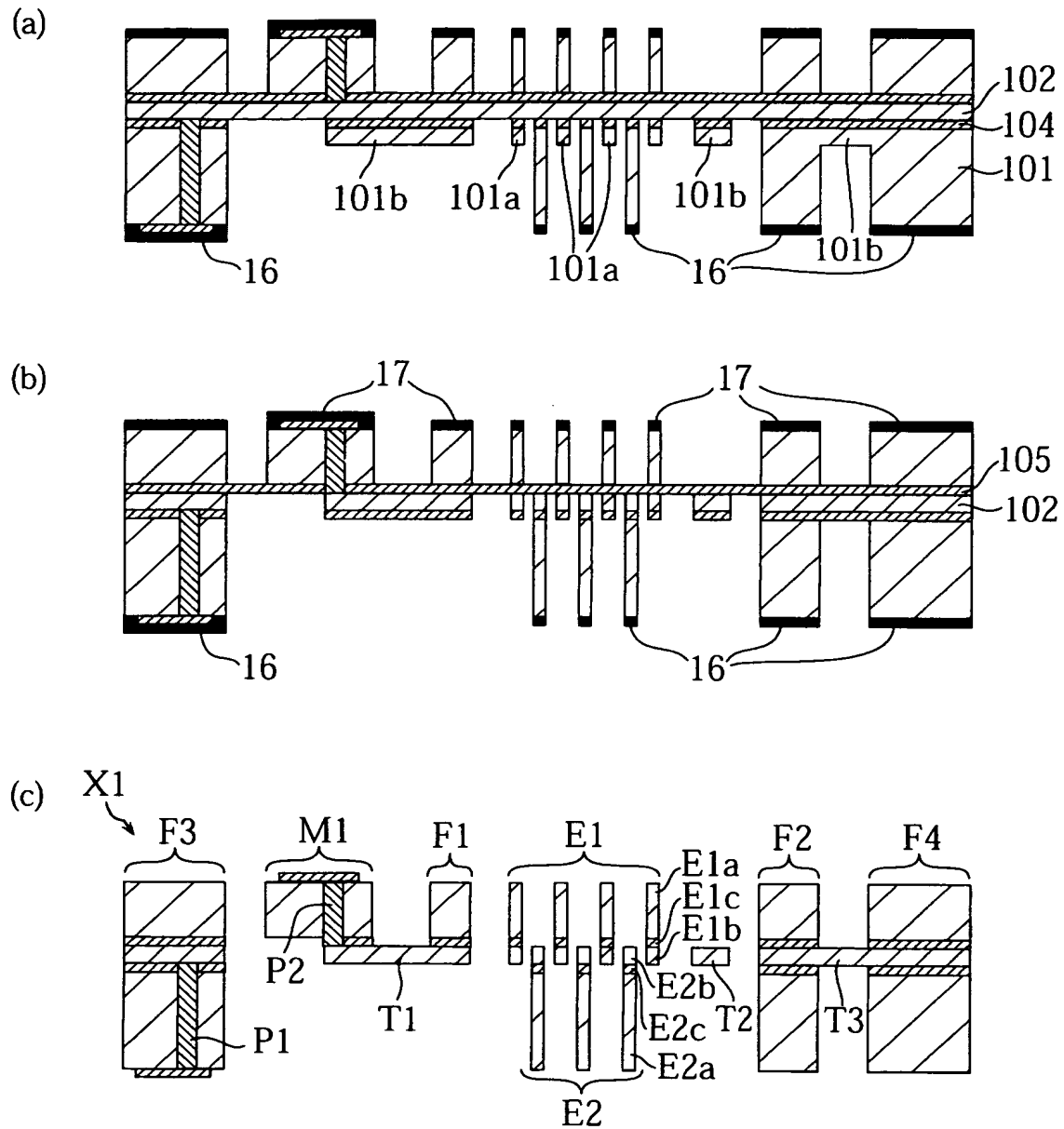
【図 9】

図8の後に続く工程



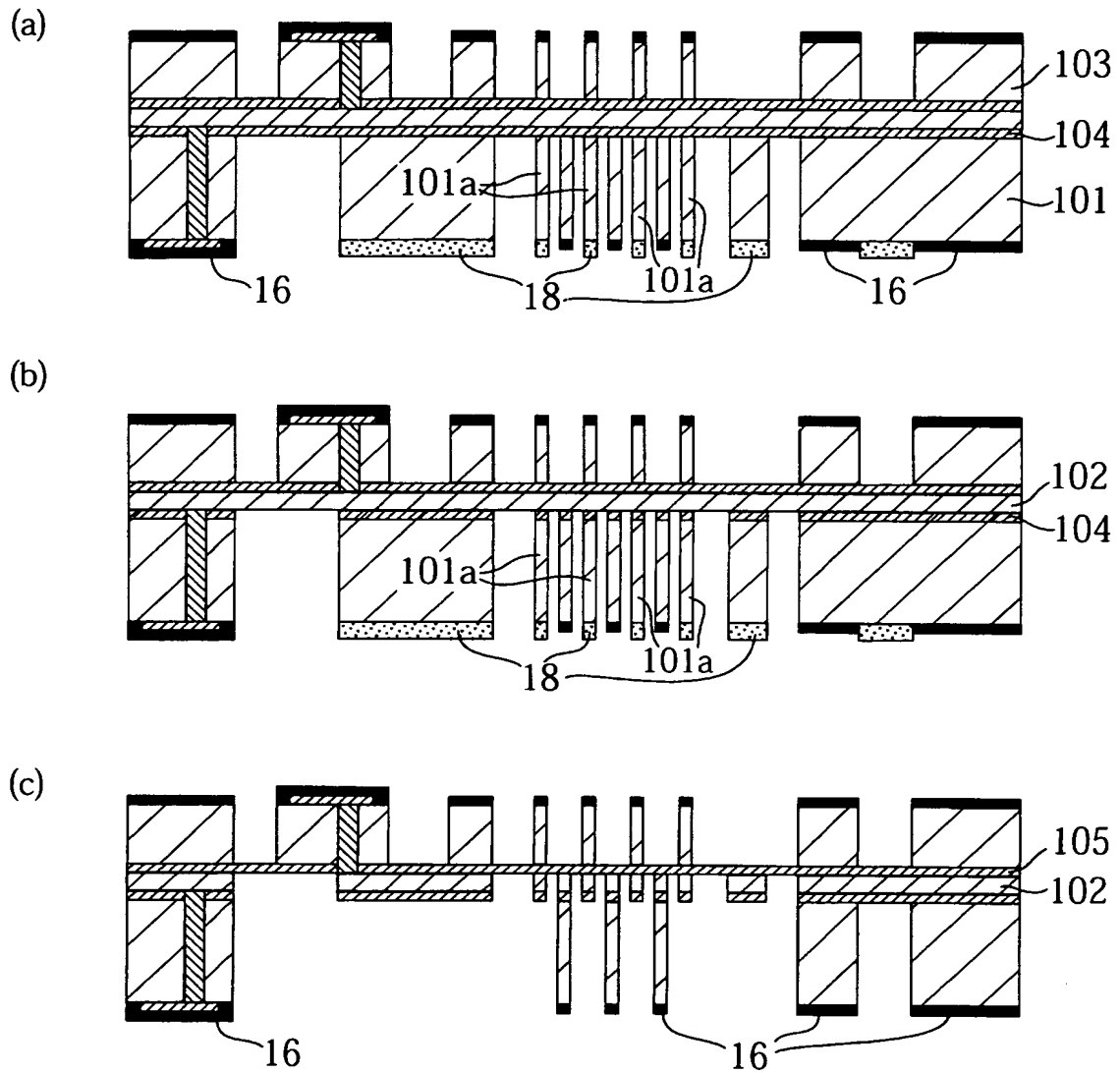
【図 10】

図9の後に続く工程



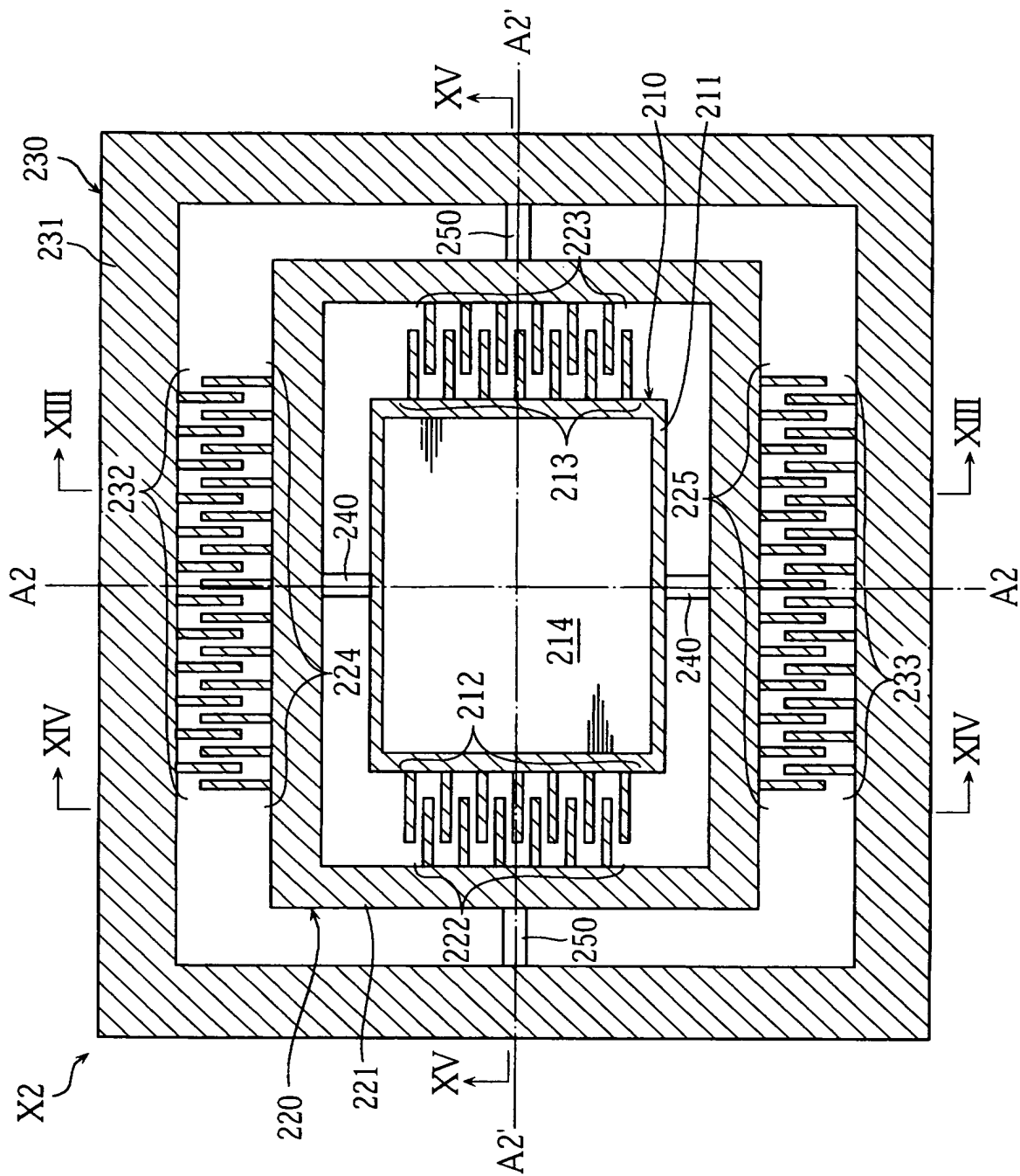
【図 11】

第1の実施形態における一部の工程の代替工程



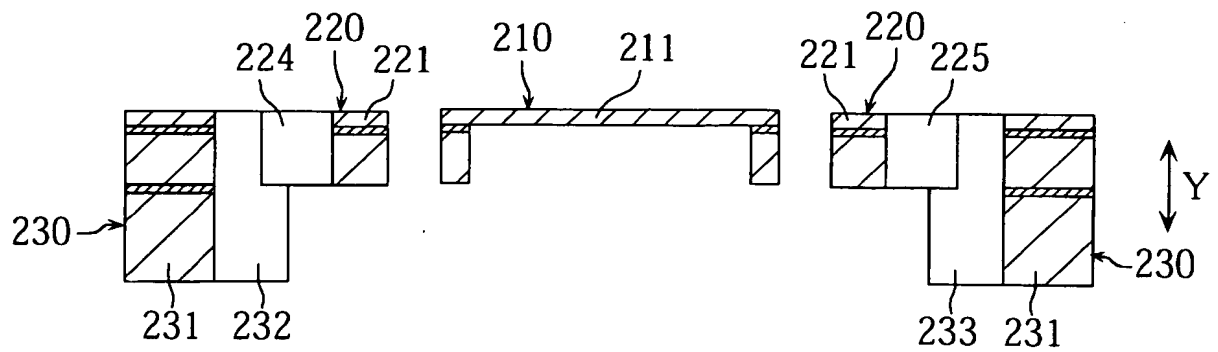
【図 12】

本発明により製造することのできる他のマイクロラ素子



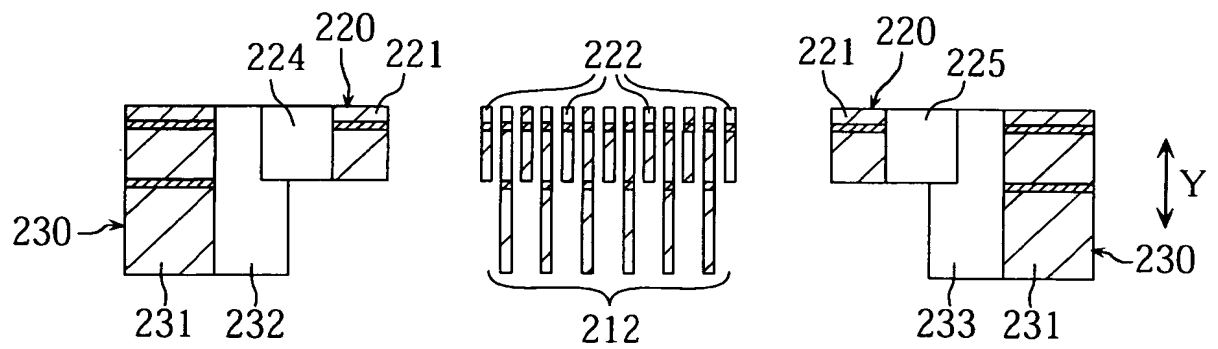
【図13】

図12の線XIII-XIIIに沿った断面図



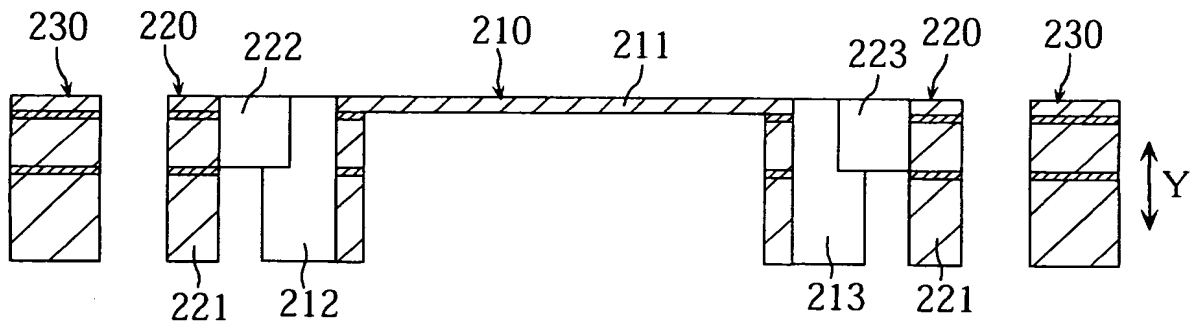
【図14】

図12の線XIV-XIVに沿った断面図



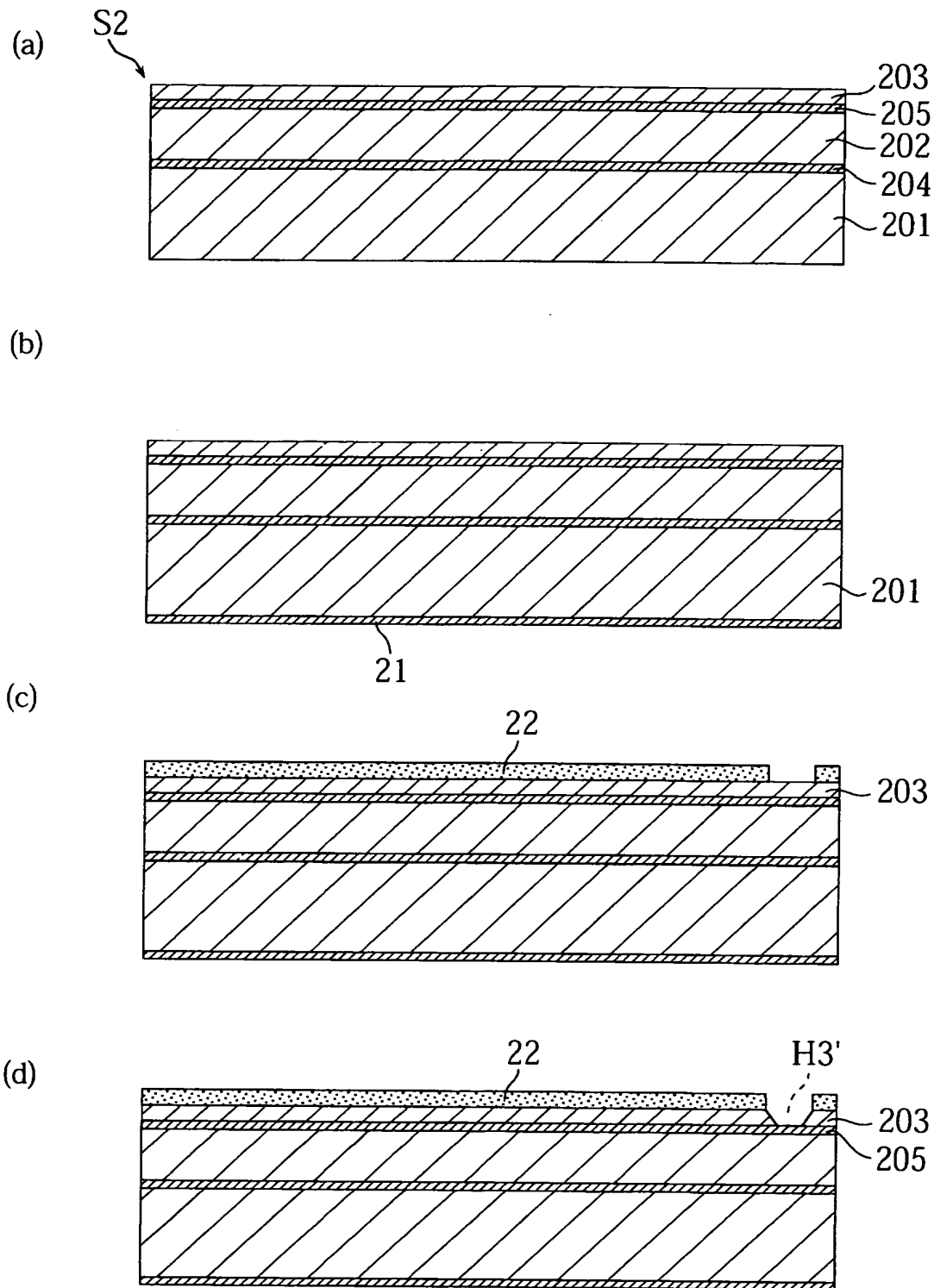
【図15】

図12の線XV-XVに沿った断面図



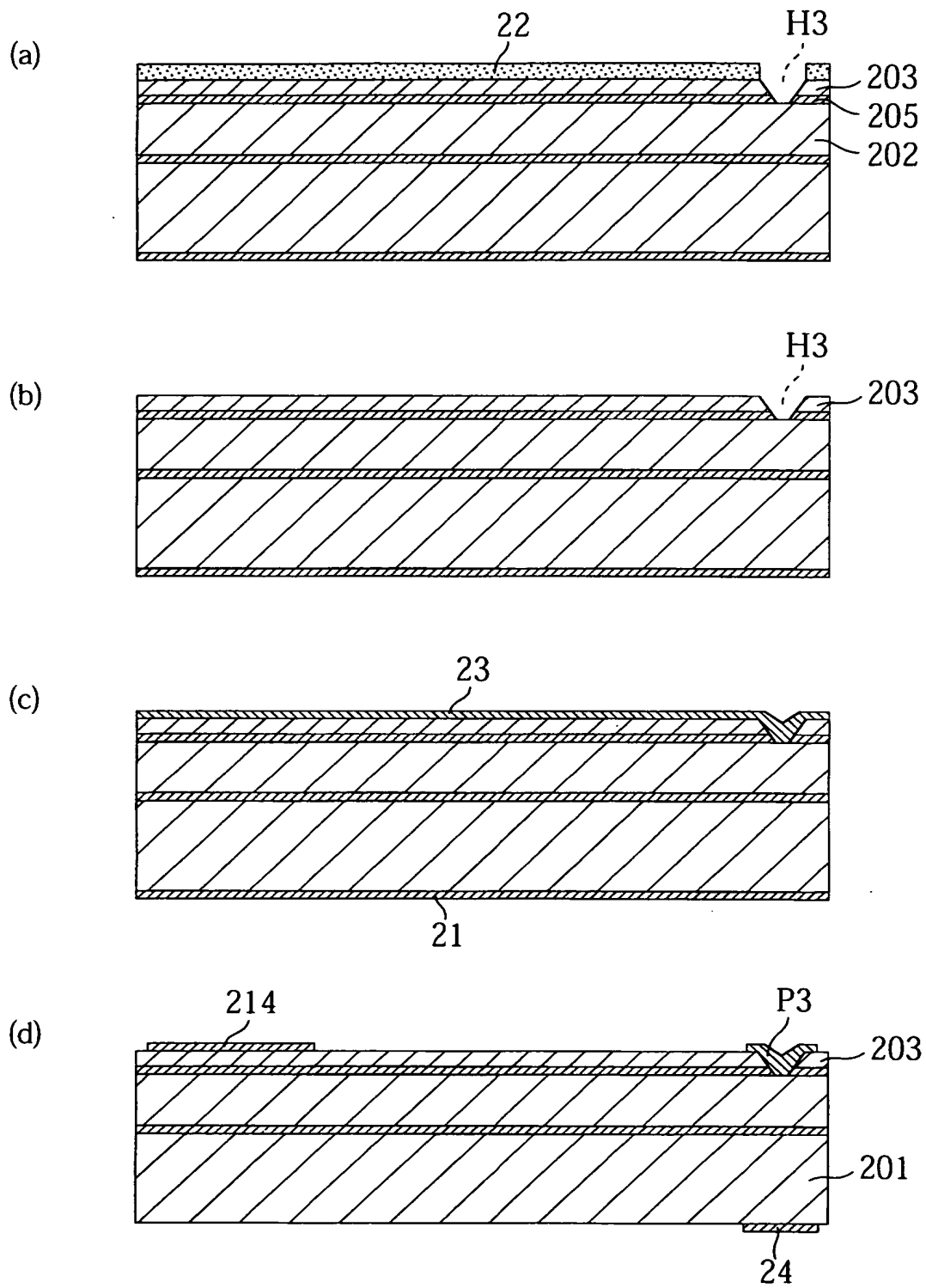
【図 16】

## 第2の実施形態のマイクロ構造体製造方法



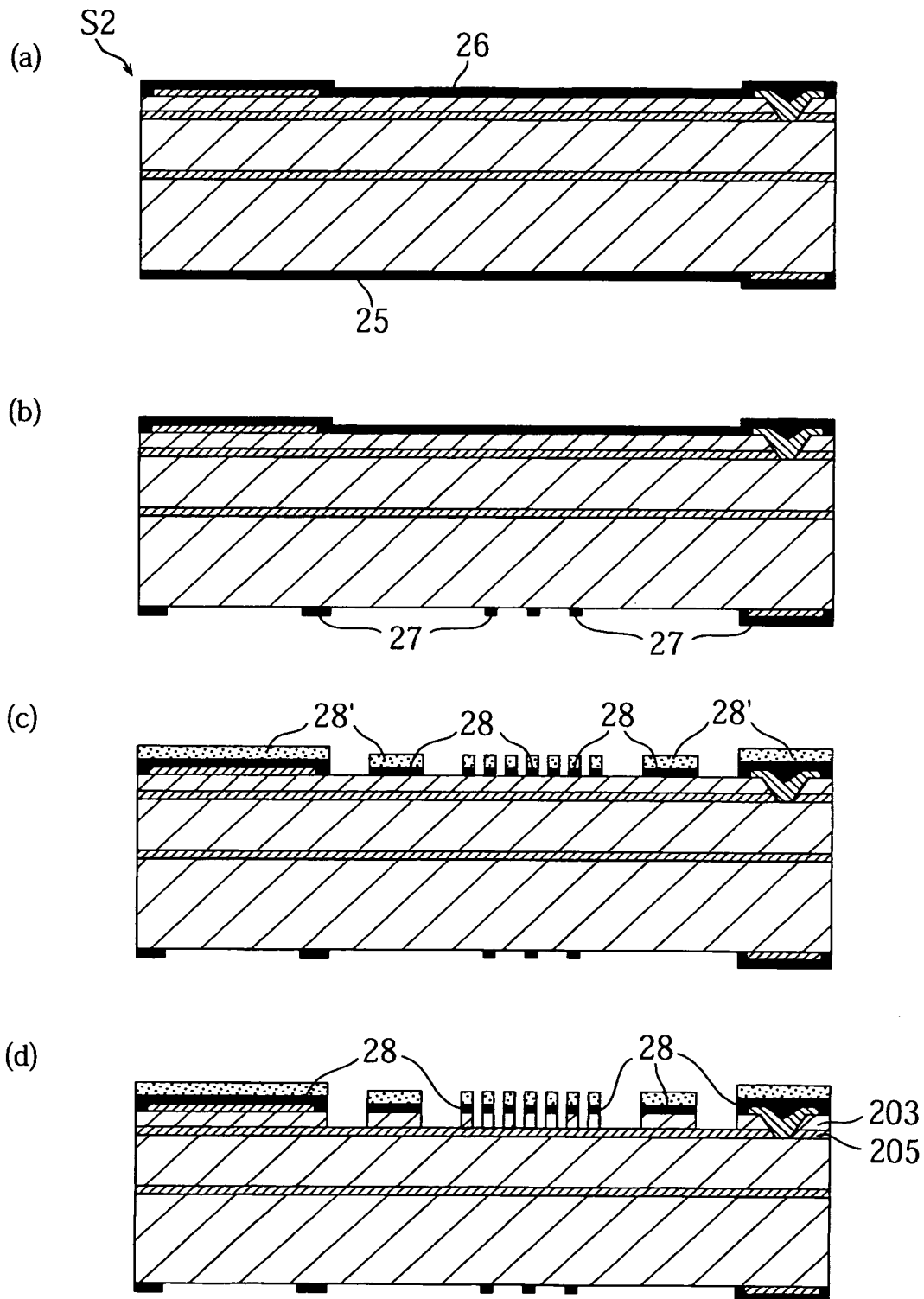
【図 17】

図16の後に続く工程



【図18】

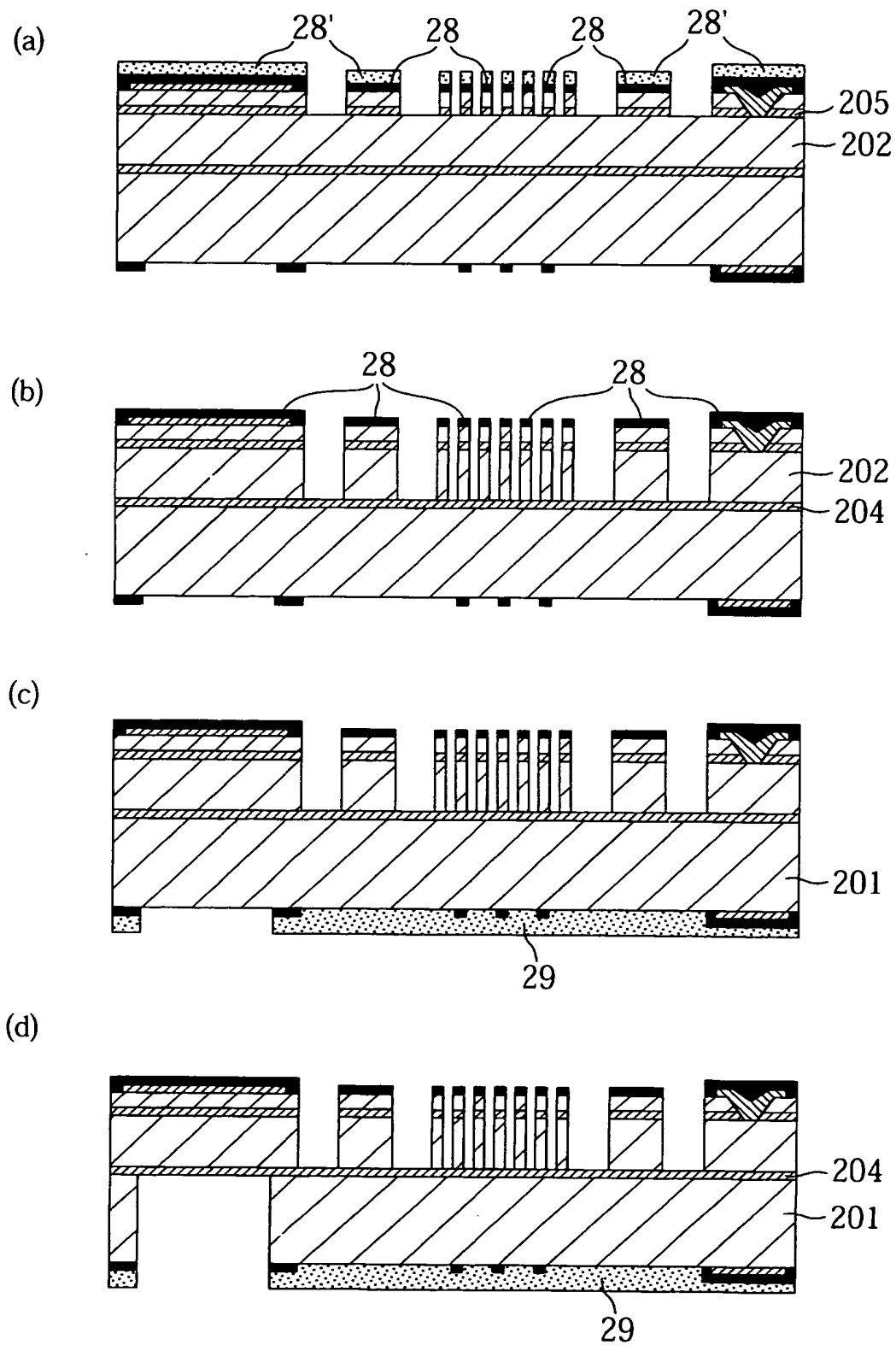
図17の後に続く工程





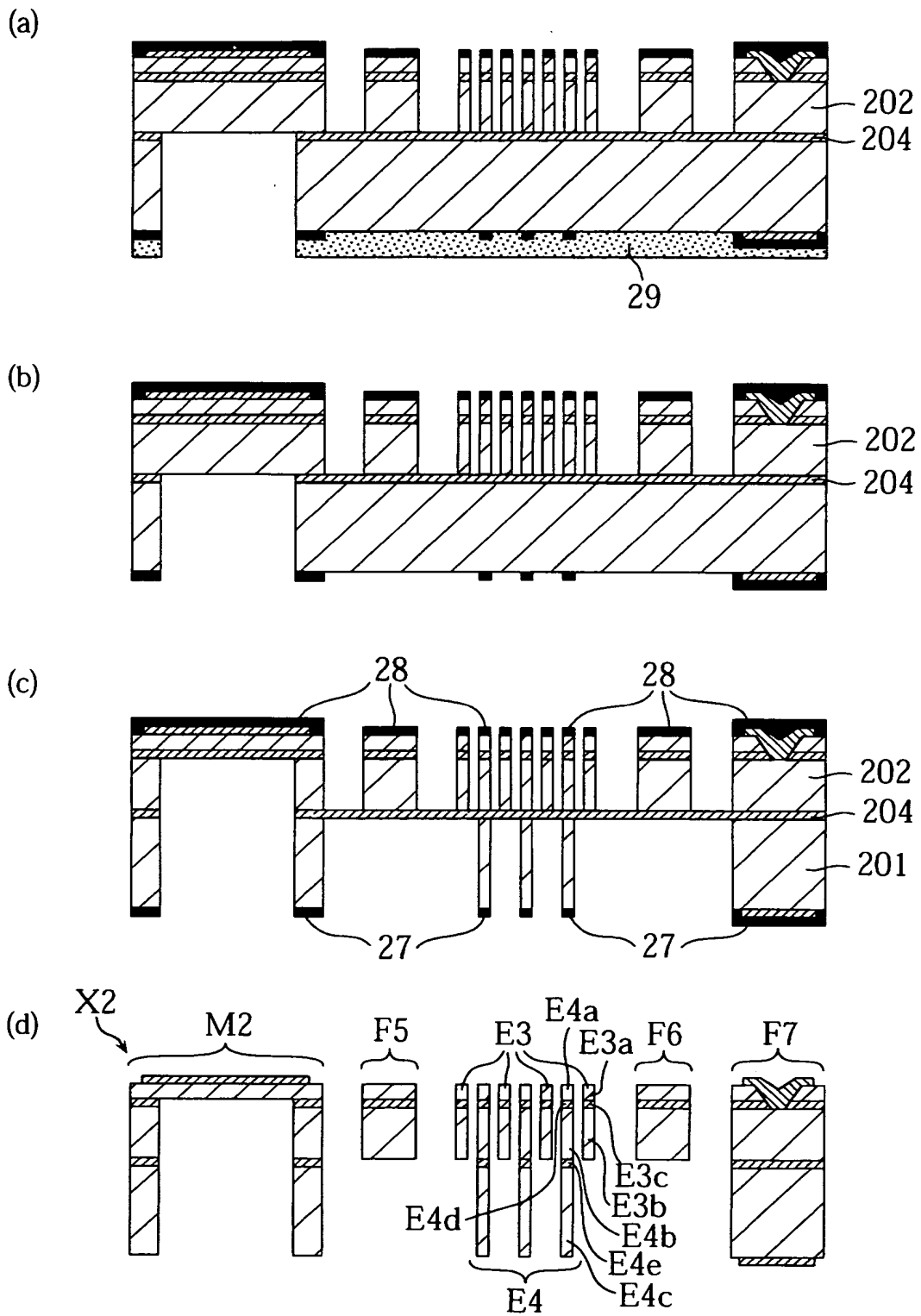
【図19】

図18の後に続く工程

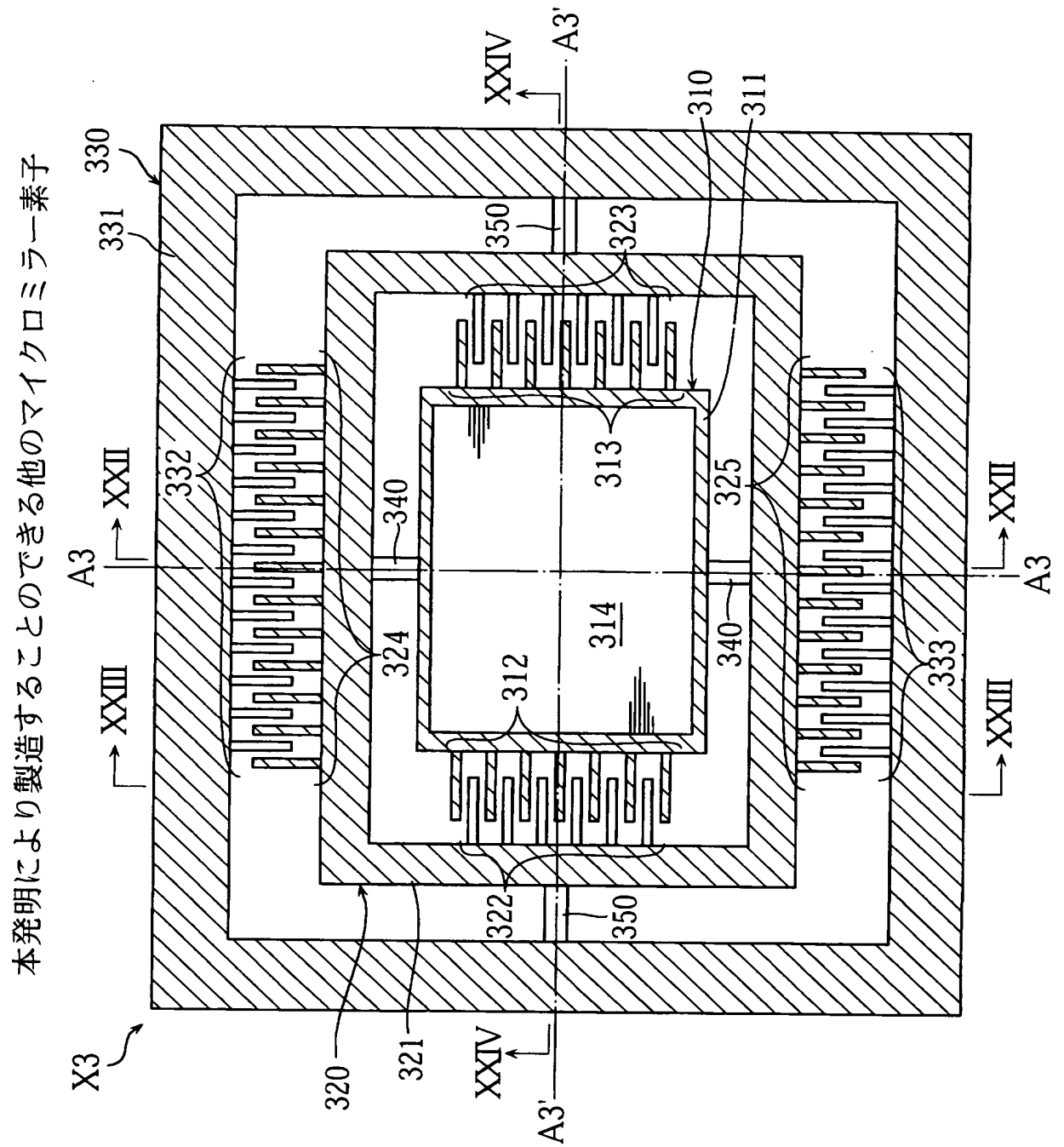


【図 20】

図19の後に続く工程

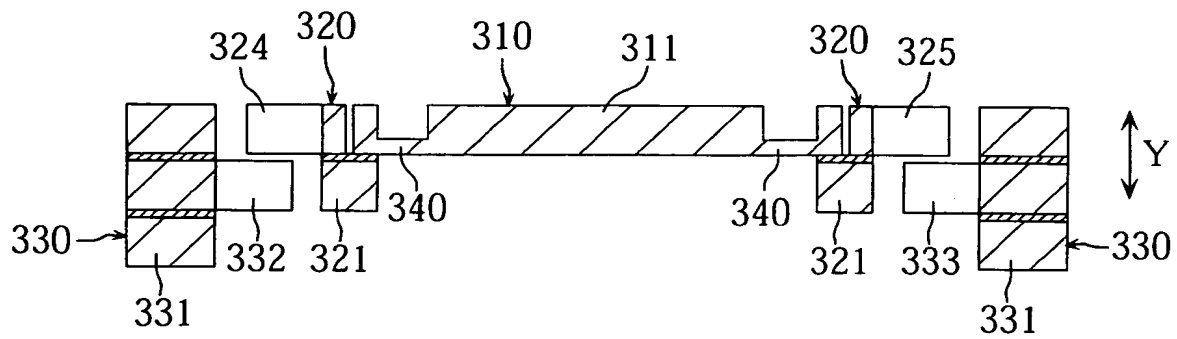


【図 2 1】



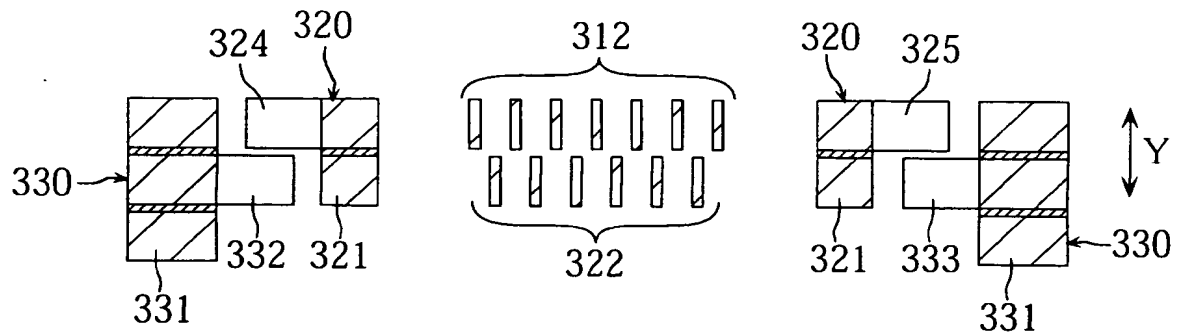
【図 2 2】

図21の線XXII-XXIIに沿った断面図



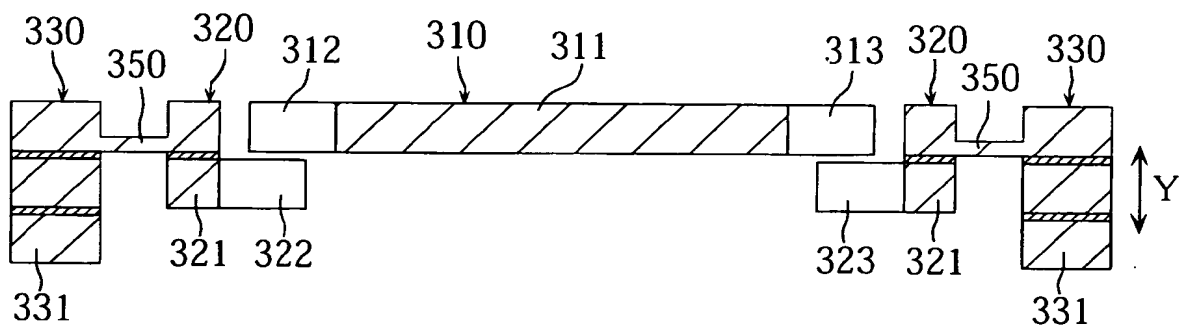
【図 2 3】

図21の線XXIII-XXIIIに沿った断面図



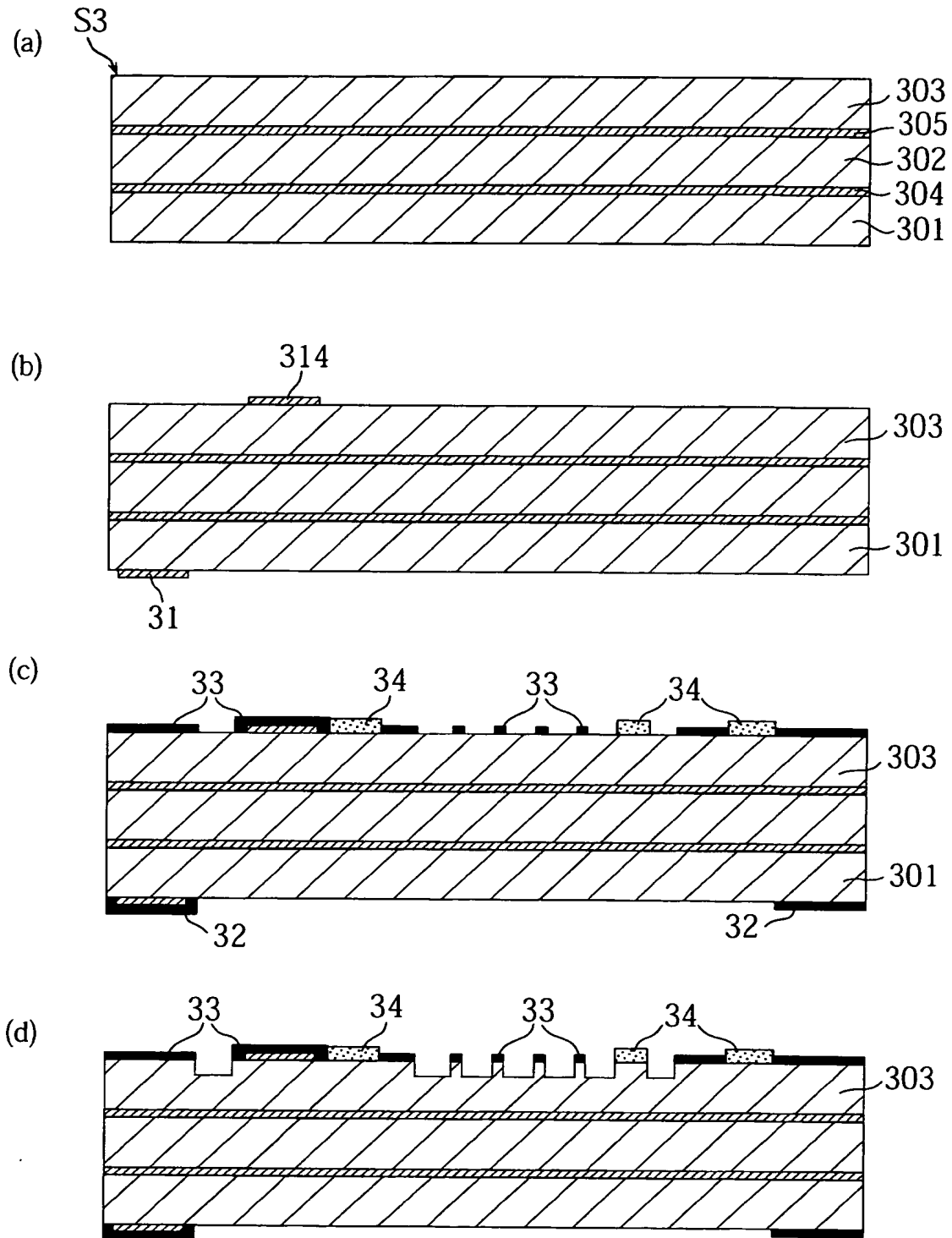
【図 2 4】

図21の線XXIV-XXIVに沿った断面図



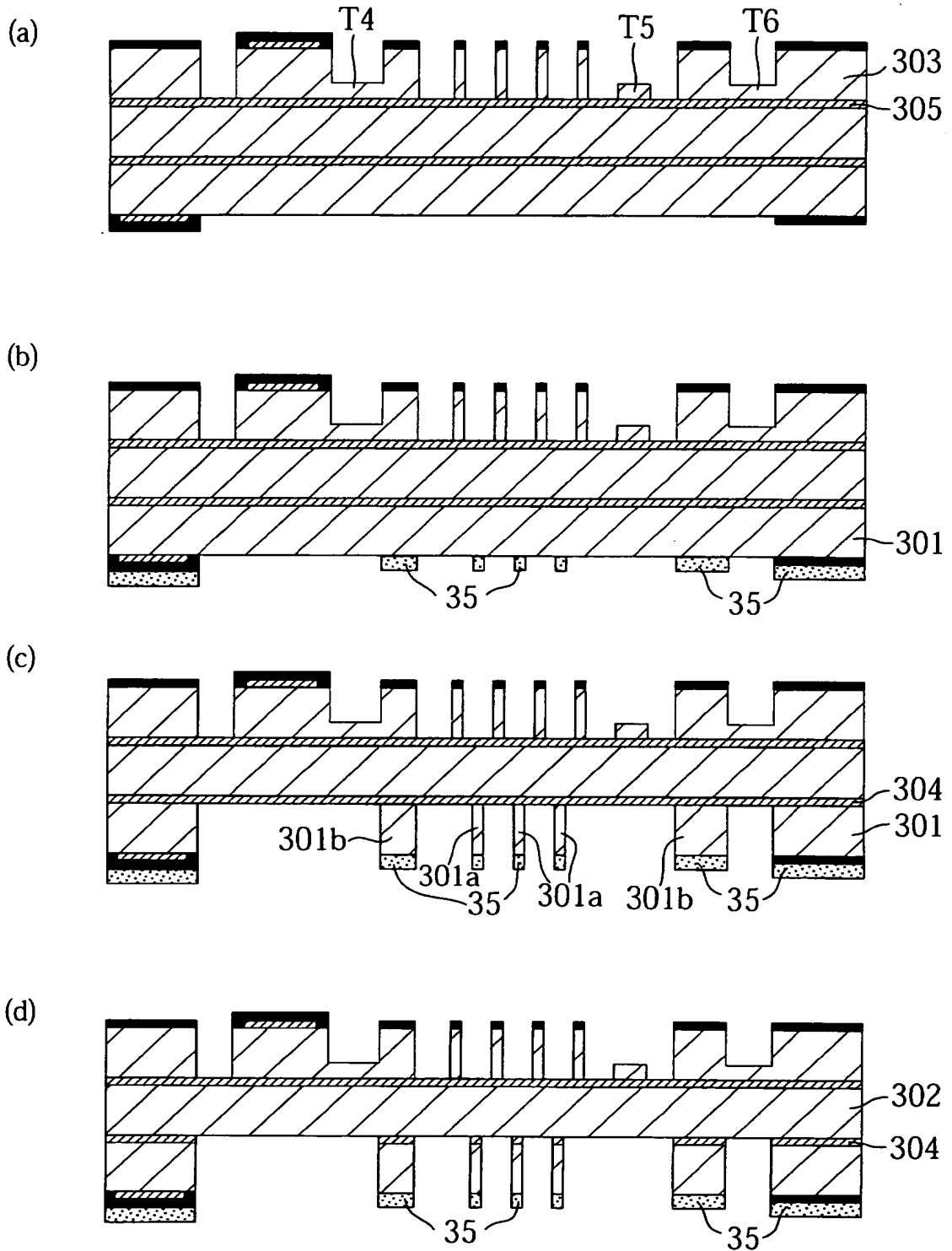
【図 25】

## 第3の実施形態のマイクロ構造体製造方法



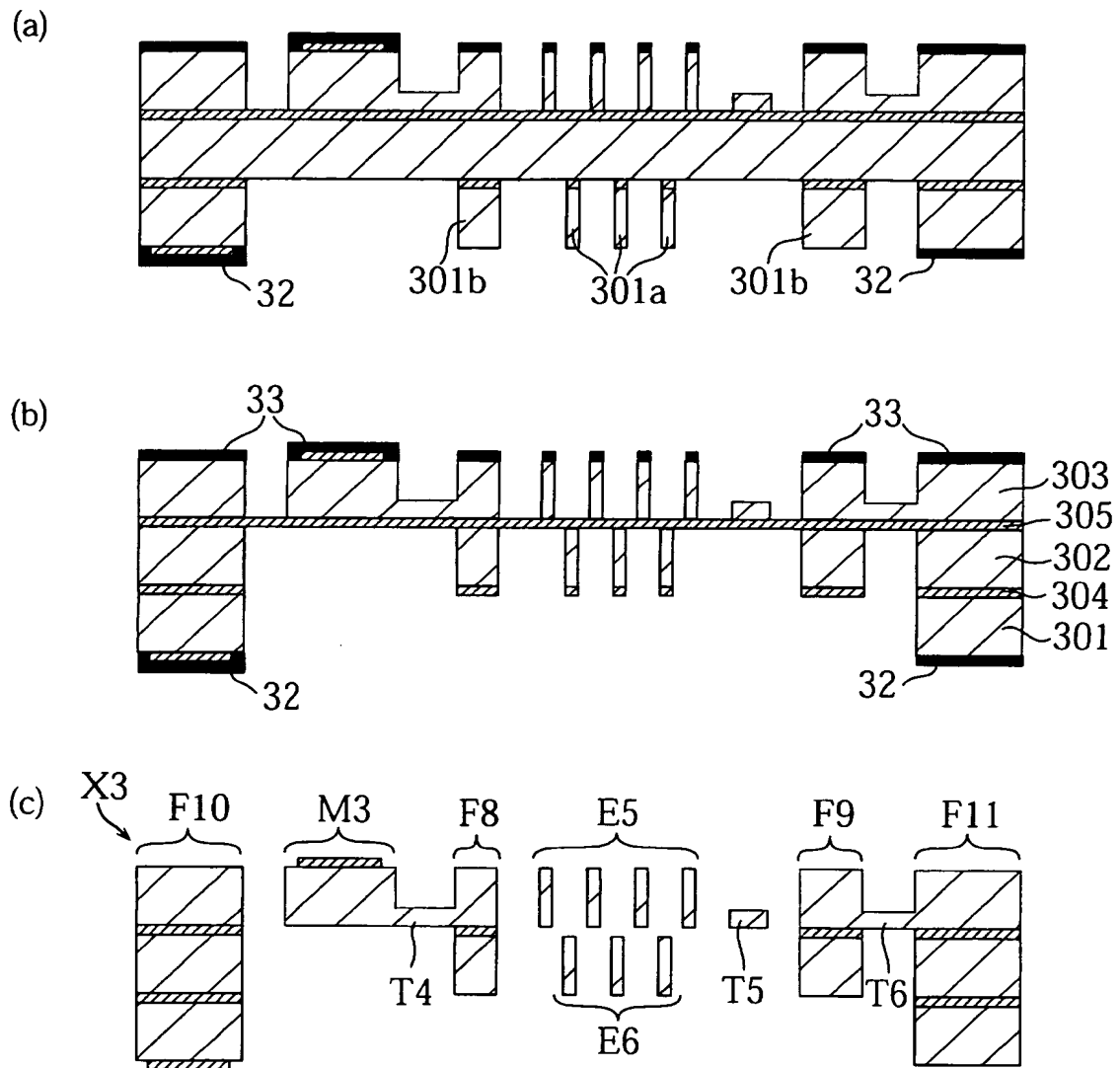
【図 26】

図25の後に続く工程



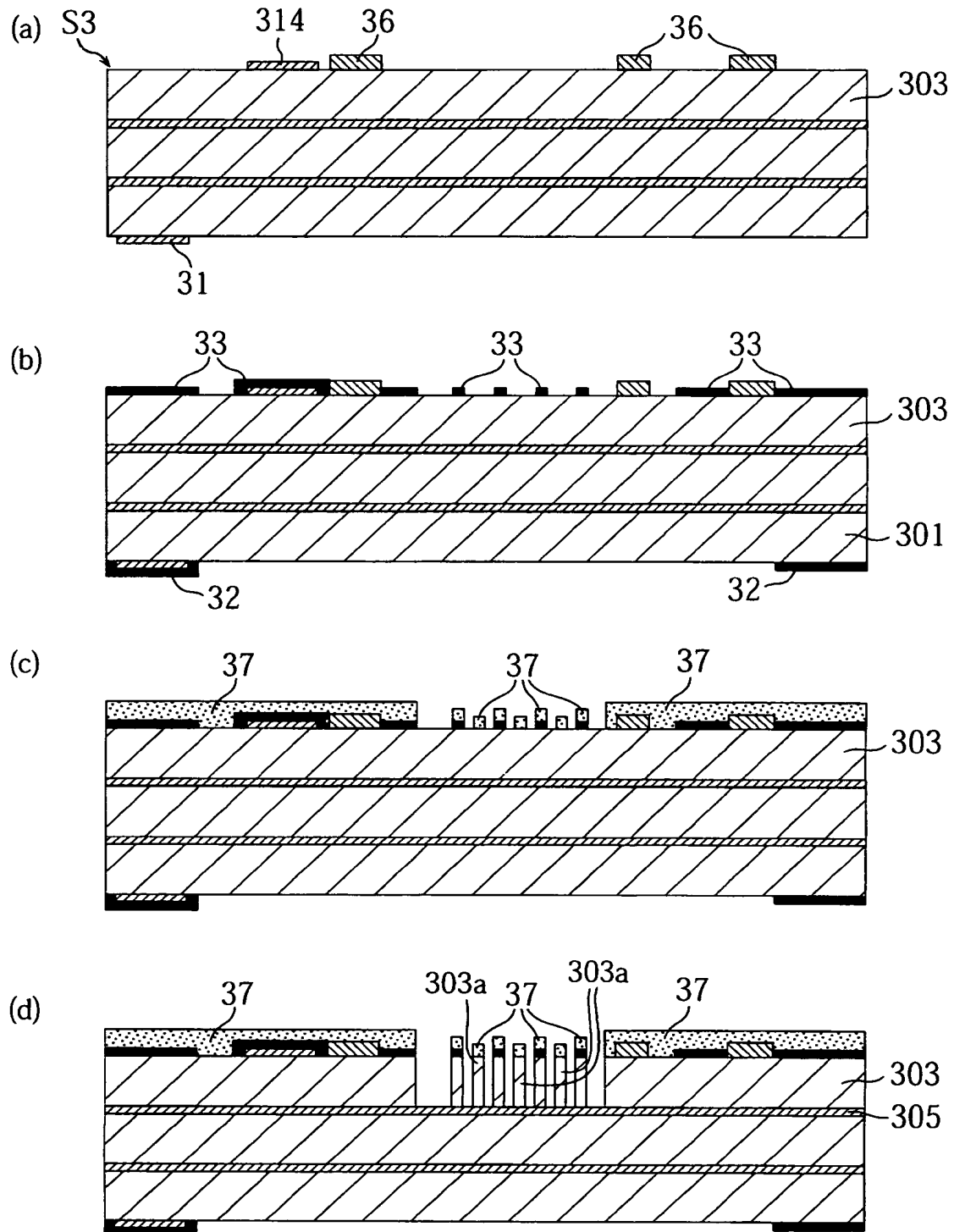
【図 27】

### 図26の後に続く工程



【図 28】

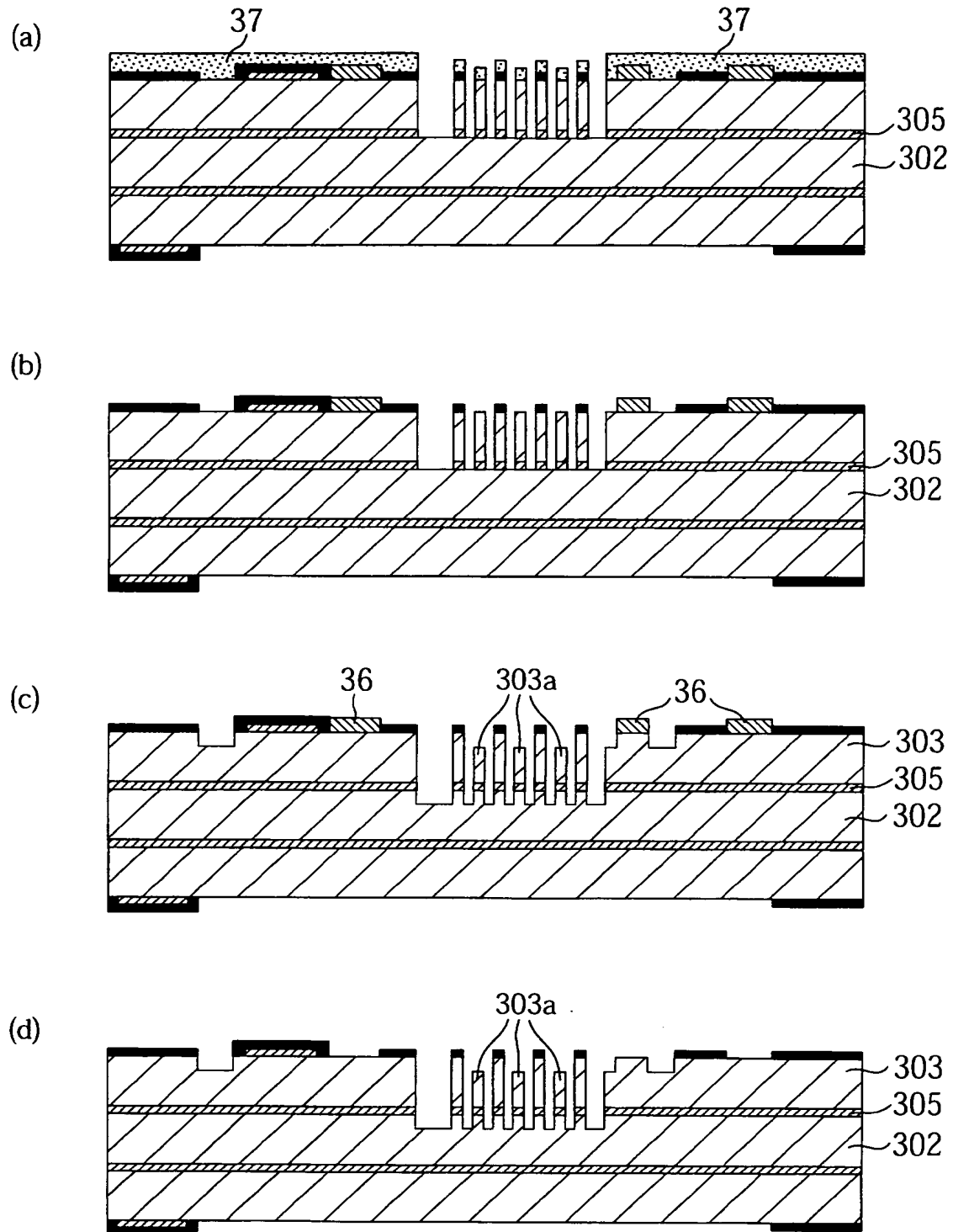
## 第4の実施形態のマイクロ構造体製造方法





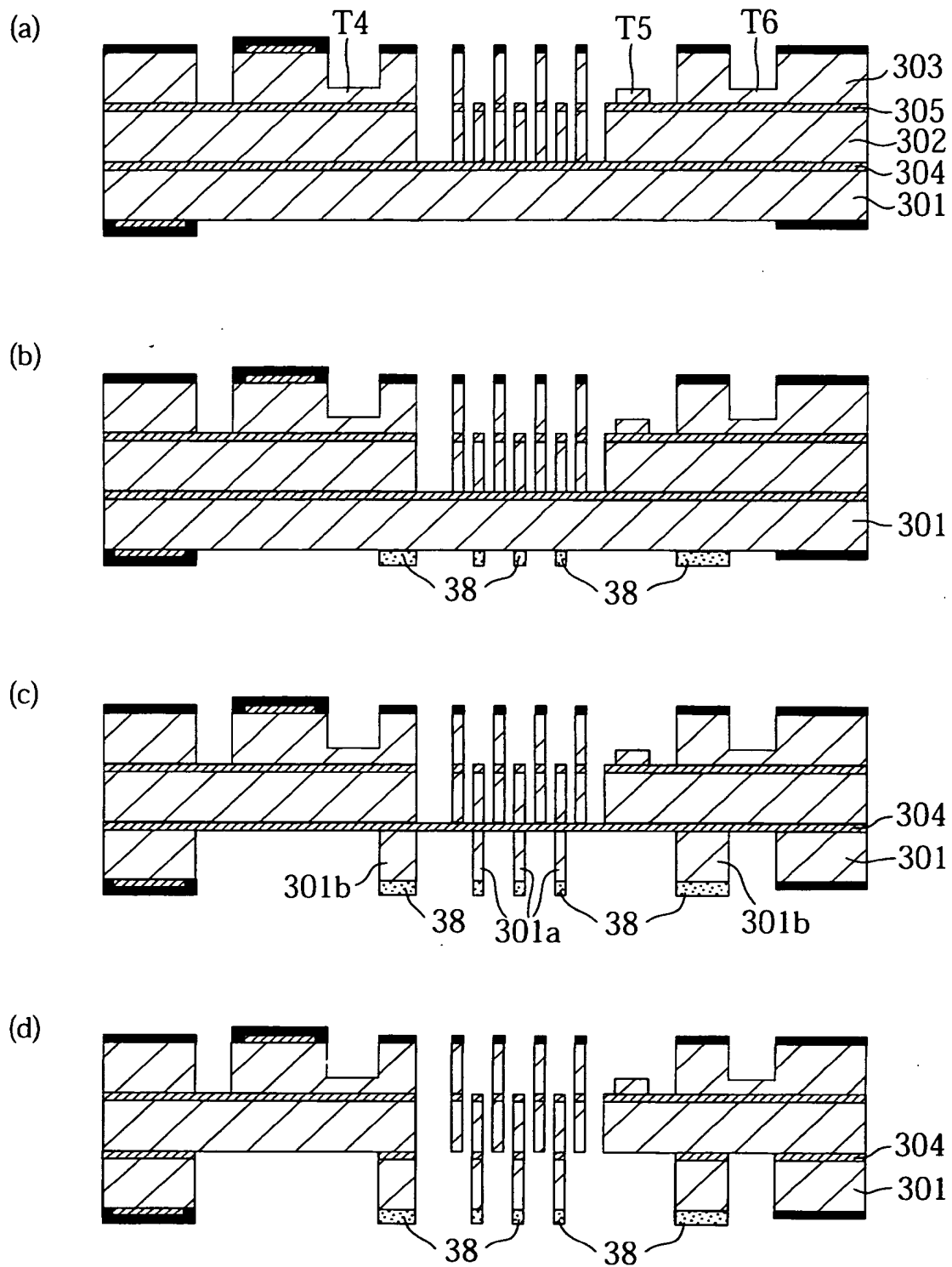
【図 29】

図28の後に続く工程



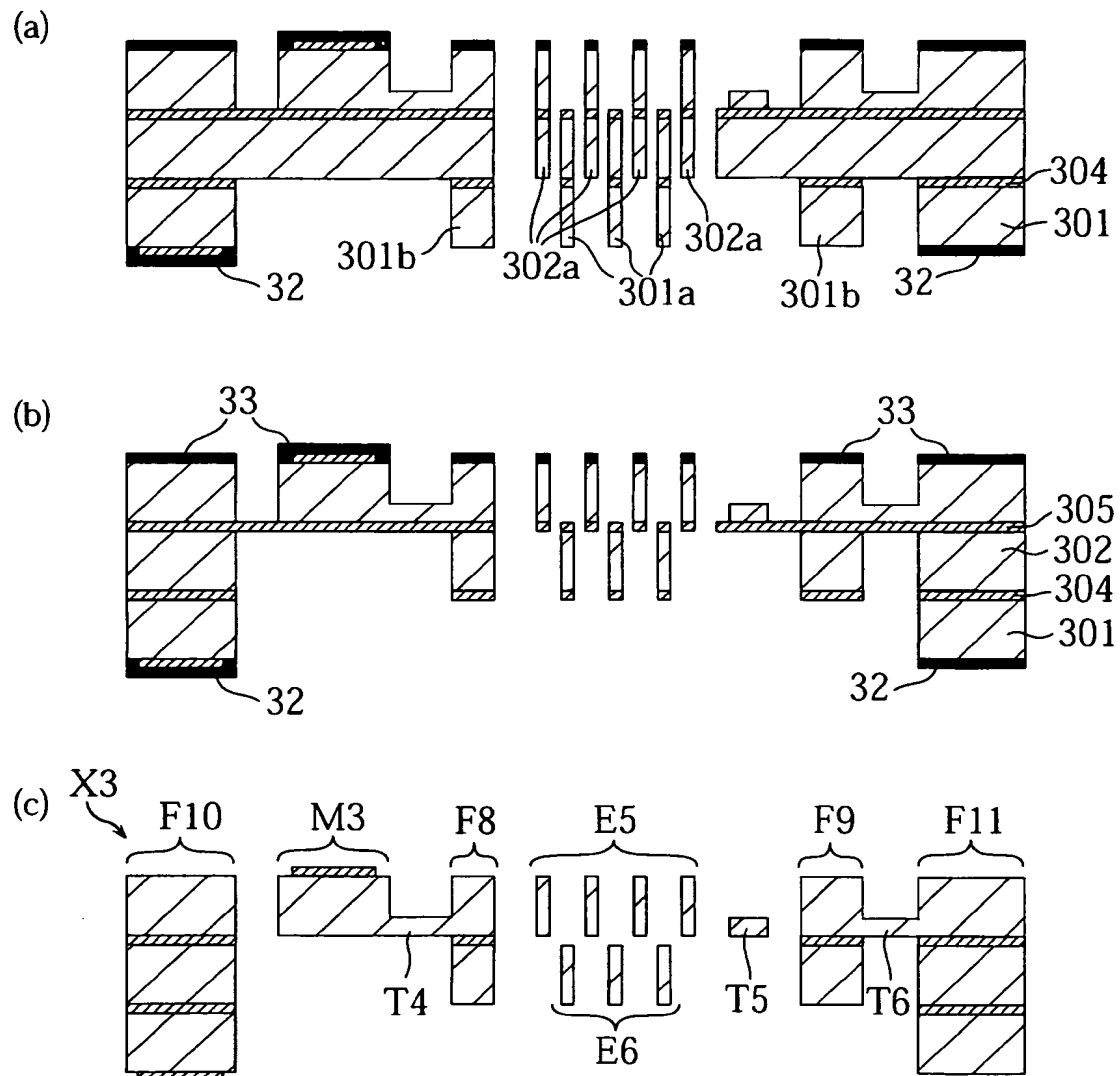
【図 30】

図29の後に続く工程



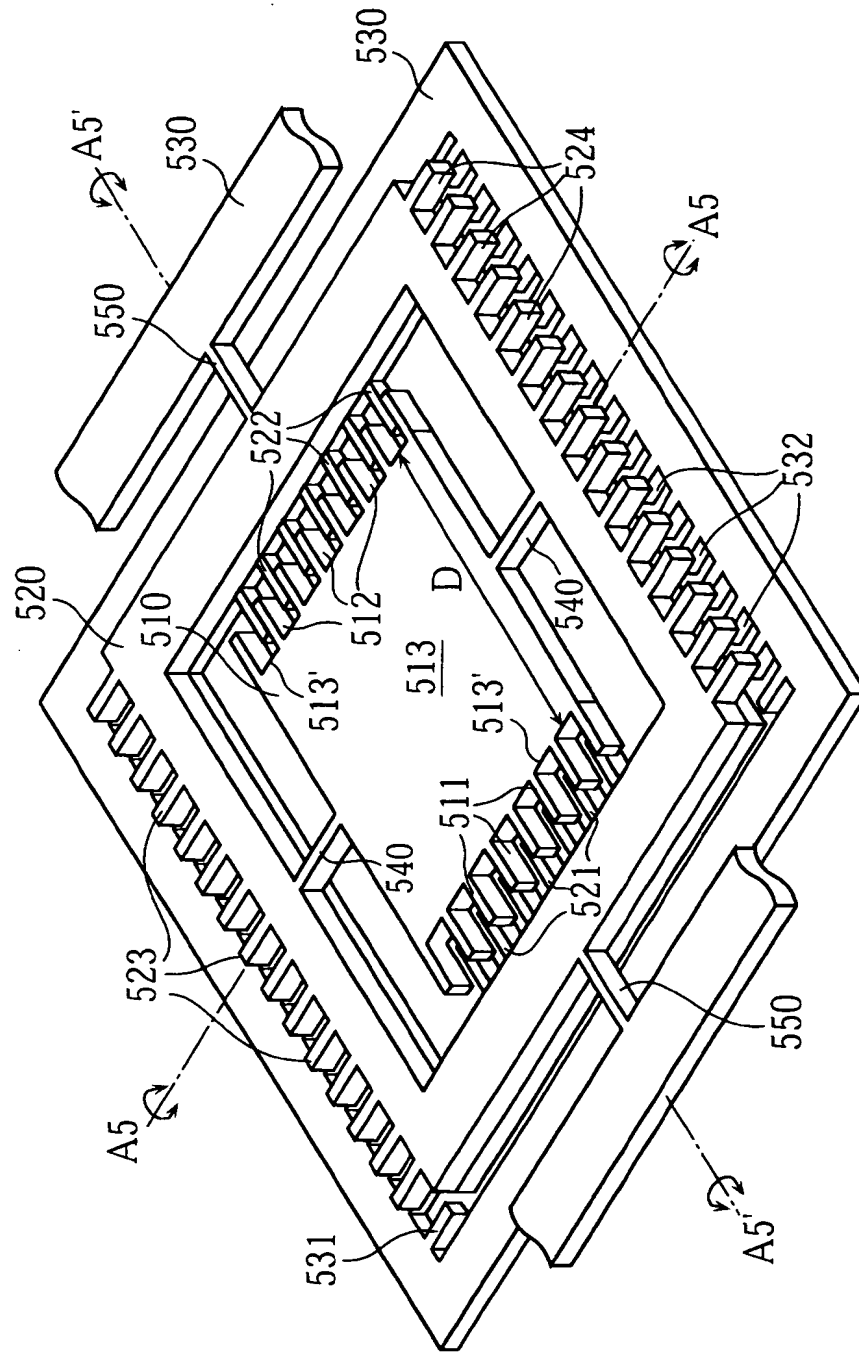
【図 3 1】

### 図30の後に続く工程



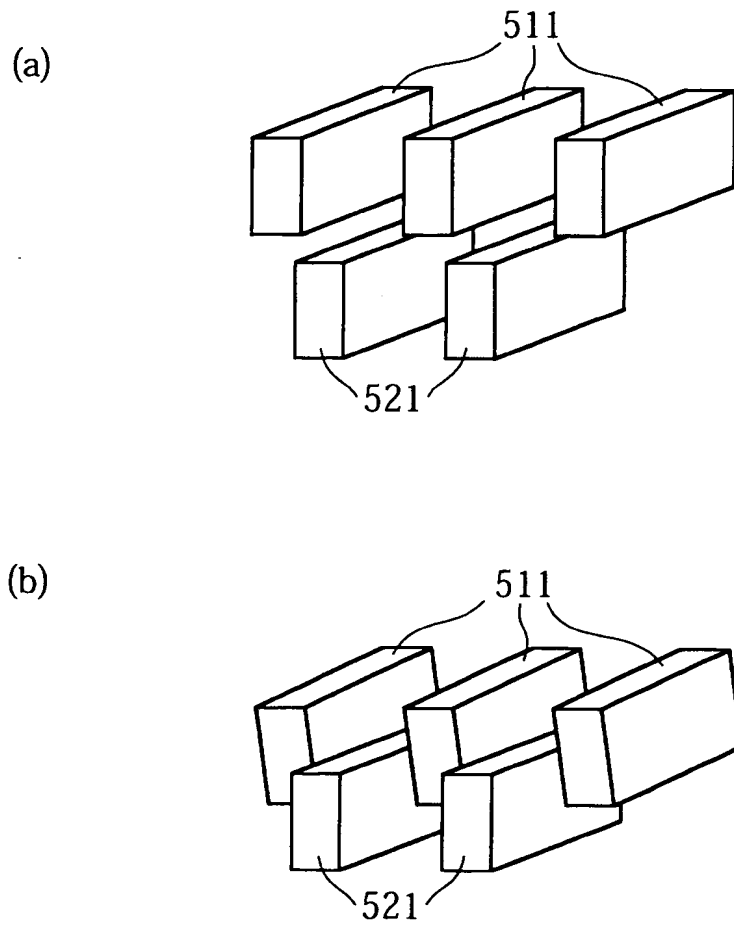
【図 3 2】

従来のマイクロミラー素子



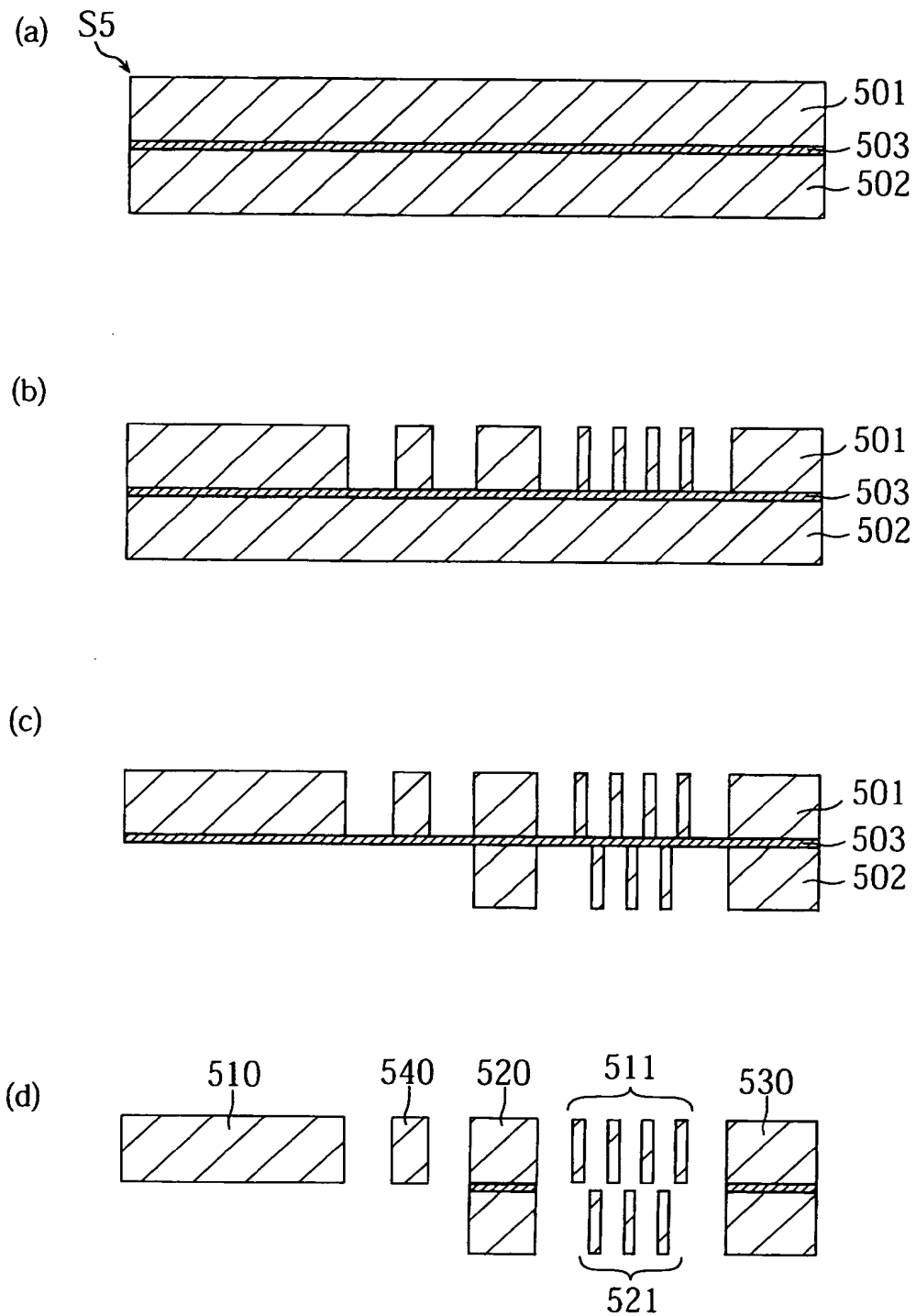
【図 3 3】

一組の櫛歯電極の配向を表す部分斜視図



【図 34】

## 従来のマイクロミラー素子製造方法



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】 厚さの異なる複数の構造部の各々について所望の厚さ寸法を実現するのに適したマイクロ構造体製造方法を提供すること。

【解決手段】 本発明は、導体層 101～103 および絶縁層 104, 105 を含む材料基板 S1 に対し加工を施してマイクロ構造体 X1 を製造する方法であり、マスクパターン 16, 18 を介して導体層 101 を所定深さまでエッチングする第 1 工程 (図 9 (b)) と、マスクパターン 18 を除去する第 2 工程 (図 9 (c)) と、マスク部 101a が形成されるように、マスクパターン 16 を介して導体層 101 をエッチングする第 3 工程 (図 9 (d)) と、絶縁層 104 において第 3 工程にて露出した箇所をエッチング除去する第 4 工程 (図 10 (a)) と、マスク部 101a を除去しつつ、導体層 102 において第 4 工程にて露出した箇所をエッチング除去する第 5 工程 (図 10 (b)) と、を含む。

【選択図】 図 9, 図 10

特願 2 0 0 3 - 2 9 2 5 5 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 5 2 2 3 ]

1 . 変更年月日

1 9 9 6 年 3 月 2 6 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号

氏 名

富士通株式会社



特願 2 0 0 3 - 2 9 2 5 5 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 3 9 8 0 6 7 2 7 0 ]

1. 変更年月日

2 0 0 3 年 5 月 3 0 日

[変更理由]

住所変更

住 所

神奈川県横浜市港北区新横浜二丁目 3 番地 1 2

氏 名

富士通メディアデバイス株式会社